10e Année. — N° 1. *(Trimestriel).* Janvier-Février-Mars 1959

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

ANNALES DE L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

SÉRIE C

ANNALES DES ÉPIPHYTIES

PATHOLOGIE VÉGÉTALE - ZOOLOGIE AGRICOLE
PHYTOPHARMACIE

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
7, rue Keppler – Paris

3 – JUIN 1959

AVIS AUX LECTEURS

Des modifications importantes sont apportées pour l'année 1959 aux Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique, en vue de mieux adapter l'ensemble de ces publications aux besoins des lecteurs. D'une part, une série nouvelle vient d'être créée : la série A *bis*, consacrée à la Physiologie Végétale qui paraîtra 4 fois par an. D'autre part, dans les autres séries, le nombre moyen de pages a été augmenté. Désormais, les Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique comprendront les séries suivantes :

Série A — **ANNALES AGRONOMIQUES.** — Agronomie générale et science du sol — couverture crème — 6 fascicules par an d'environ 120 pages.

Série A bis — **ANNALES DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE.** — Couverture bleue — 4 fascicules par an d'environ 50 pages.

Série B — **ANNALES DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES.** — Couverture verte — 4 fascicules par an d'environ 120 pages.

Série C — **ANNALES DES ÉPIPHYTIES.** — Couverture rouge — 4 fascicules par an d'environ 120 pages.

Série C bis — **ANNALES DE L'ABEILLE.** — Couverture ocre — 4 fascicules par an d'environ 80 pages.

Série D — **ANNALES DE ZOOTECHNIE.** — Couverture jaune — 4 fascicules par an d'environ 80 pages.

Série E — **ANNALES DE TECHNOLOGIE AGRICOLE.** — Couverture grise — 4 fascicules par an d'environ 120 pages.

(Voir en page 3 de la couverture les conditions nouvelles d'abonnement).

Les commandes d'ouvrages doivent être adressées au Régisseur des publications, 149, rue de Grenelle, Paris-VII^e^.

Règlement : par chèque bancaire à l'ordre du Régisseur des publications, par virement postal, à son compte courant : Paris 9064-43 ou par bons U. N. E. S. C. O.

RECHERCHES SUR LA PATHOGÉNÈSE DES VIROSES D'INSECTES. LA LIBÉRATION DES VIRUS DANS LE TUBE DIGESTIF DE L'INSECTE A PARTIR DES CORPS D'INCLUSION INGÉRÉS

PAR

C. VAGO et **O. CROISSANT**

Laboratoire de Cytopathologie, Station de Recherches séricicoles, Alès

Service des Virus Institut Pasteur, Paris.

PLAN DU MÉMOIRE

I. — Introduction.
II. — Analyse du passage des corps d'inclusion de virus dans le tube digestif.
III. — Effet du suc intestinal sur les corps d'inclusion.
IV. — Processus du dégagement des virus.
V. — Virus libres dans l'intestin.
VI. — Conclusions.

I. — INTRODUCTION

Bien que certaines maladies à virus soient connues dans leurs caractères extérieurs depuis plus d'un siècle, la compréhension du mode d'action des virus se heurte toujours à de nombreuses difficultés. Les nouvelles possibilités d'analyses microchimiques, la culture « in vitro » de tissus sensibles et l'histologie adaptée à la microscopie électronique, ont été nécessaires pour approfondir les différentes phases de la pathogénèse virusale.

De telles recherches se poursuivent également pour les viroses d'Insectes, ces affections étant susceptibles d'apporter leur contribution à l'étude comparée des actions virusales, grâce à certaines particularités des virus en cause, à la possibilité de l'histologie d'organes entiers ainsi qu'au fait de pouvoir opérer sur un grand nombre d'individus pendant des générations successives. Par ailleurs, une meilleure connaissance du processus d'infection, conditionne l'amélioration de la prophylaxie des viroses détruisant les élevages d'Insectes utiles ; elle permet aussi d'expli-

quer certains mouvements de fluctuations des populations dans la nature, et d'envisager l'emploi rationnel des virus dans la lutte biologique contre les ravageurs des cultures.

Depuis une trentaine d'années, le nombre des maladies à virus connues chez les Insectes augmente progressivement (6, 10). La plupart d'entre elles sont caractérisées par la présence de corps d'inclusion polyédriques ou granulaires. On sait que l'infection se réalise par l'ingestion des corps d'inclusion, que le développement des virus dans les cellules sensibles est suivi de la formation de pseudocristaux de protéines et que ces corps persistent même hors de l'organisme. Ce n'est toutefois que récemment que le mécanisme de l'action virusale intracellulaire a été abordé (2, 3, 5, 9, 15, 16).

Ainsi, avons-nous envisagé depuis sept ans, d'approfondir successivement chacune des phases du cycle du *Borrelinavirus bombycis*, en tant que prototype de viroses à polyèdres intranucléaires chez les Lépidoptères. Nous avons suivi au microscope électronique, chez *Bombyx mori* L., la multiplication de ce virus à l'intérieur des noyaux des cellules du tissu adipeux (15, 16), la formation d'agglomérats enveloppés d'une membrane et nous avons montré sur coupes ultrafines de polyèdres en voie d'évolution, l'intégration des virus dans les corps d'inclusion (16). Ce processus représente la fin du cycle des virus, les polyèdres libérés après la rupture des tissus étant prêts à déclencher une nouvelle infection.

La présente étude traite au contraire la première phase de la pathogénèse en recherchant la nature des processus qui surviennent après l'ingestion de corps d'inclusion par une larve saine. Nous nous proposons de suivre sur le prototype *B. mori*, à l'aide du contraste de phase et du microscope électronique, les changements externes et internes que ces corps subissent. Nous essayerons ensuite de tracer le sort, au cours de ce processus, des virus inclus dans les polyèdres et enfin de contrôler la virulence de ceux-ci pendant cette première phase.

Les techniques utilisées étant particulières pour chaque type d'examen, elles seront traitées au cours des divers chapitres.

II. — ANALYSE DU PASSAGE DES CORPS D'INCLUSION DE VIRUS DANS LE TUBE DIGESTIF

a) Infection spontanée.

Afin de suivre la première phase de l'infection, il était normal de rechercher d'abord sur des cas spontanés le sort des corps d'inclusion ingérés.

L'alimentation de larves de *B. mori* (4^{e} âge) avec des feuilles de mûriers souillées d'hémolymphe de larve liquéfiée par la « grasserie », a

été suivie d'anesthésie totale. Après dissection immédiate du tube digestif, des prélèvements ont été effectués sur l'intestin antérieur, sur les parties antérieures et postérieures du méso-intestin et sur l'intestin postérieur. Ces prélèvements furent examinés au contraste de phase (13) où les polyèdres apparaissent sous forme de cristaux multicolores et brillants, et sur frottis colorés au bleu Victoria, où ils se distinguent par leurs contours foncés (12).

Les polyèdres en quantité variable dans l'intestin antérieur, sont rares dans le méso-intestin et inexistants dans l'intestin postérieur. Ces renseignements peu significatifs, sans doute à cause du nombre relativement restreint de polyèdres ingérés, ont constitué le départ des essais d'ingestions expérimentales.

b) **Infection expérimentale.**

Pour pouvoir observer un nombre suffisant de polyèdres dans les prélèvements intestinaux, il était nécessaire de faire absorber aux larves en peu de temps, une quantité importante de ces corps. Cependant, l'administration de trop de liquide était à éviter afin de ne pas diluer le suc intestinal. Pour ces raisons, nous avons remplacé l'infection normale par l'absorption expérimentale de polyèdres sous forme d'une goutte administrée à l'aide d'une pipette deux fois effilée. Cette technique, ayant nécessité un certain apprentissage dans la manière de serrer le ver afin qu'il puisse avaler facilement une goutte déposée entre ces mandibules, l'essai n'a été évalué que lorsque une absorption complète et immédiate fut obtenue.

a) Les particularités des polyèdres ingérés ne pouvaient être définies qu'en comparaison avec l'avancement normal de l'aliment ou de tout élément figuré dans le tube digestif.

Les renseignements bibliographiques sur la physiologie alimentaire de cet insecte (4, 8, 17) concernent surtout le trajet total de l'aliment et la durée du passage dans chacune des parties du tube digestif. Or, les données intéressant notre problème sont avant tout relatives au passage dans l'œsophage et dans la partie antérieure de l'intestin moyen. De plus, il a été important de tenir compte non seulement de l'avancement de l'aliment, mais également de celui d'éléments figurés ingérés, comparables aux polyèdres. Pour ces raisons, il nous a semblé bon d'employer certaines conidies cryptogamiques non toxiques pour les Lépidoptères, comme traceurs. Une suspension aqueuse très concentrée a été préparée en lavant dans 3 cc d'eau distillée une culture sur gélose Sabouraud, de *Penicillium expansum* LINK., âgée de 60 jours. Une goutte de cette suspension est absorbée par des larves de *Bombyx* de 4^{e} âge selon la méthode décrite plus haut. Après anesthésie, des prélèvements sont effec-

tués au bout de plusieurs laps de temps dans les diverses parties du tube digestif, et la présence de conidies à forme caractéristique est recherchée sur frottis colorés à Dibromoxymercurifluorescéine-Bleu de Méthylène (11). Les résultats résumés dans le tableau nº 1 A, montrent que les éléments-tests restent nombreux dans la partie antérieure du méso-intestin où pendant 6 minutes, aucun élément n'a pénétré. Leur nombre augmente dans cette partie pendant les cinq minutes suivantes signifiant l'absence de barrières particulières entre les deux intestins. Enfin, en 15 minutes, la partie postérieure du méso-intestin voit l'arrivée des premiers éléments.

Tableau I

Comparaison de l'avancement des éléments figurés inertes de 3-5 μ (*tests : conidies de* Penicillium expansum) (A) *et des polyèdres de* Borrelinavirus bombycis *de mêmes dimensions* (B) *dans le tube digestif des larves* (4e *âge*) *de* Bombyx mori.

Cinq expériences de chaque catégorie. Nombre d'éléments dans un champ microscopique (moyennes de 10 champs) :

— = 0 + + = 5 à 25

\+ = 1 à 5 + + + = plus de 25

Fractions du tube digestif	Minutes après ingestion						
	4	6	8	10	12	14	16
A. Témoin inerte							
Int. antérieur	− − + − −	+ + − + + + + + + + +	+ + + + + + + +

b) L'expérience décrite ayant tracé le trajet des corps inertes ingérés, nous possédions des éléments de comparaison pour l'observation du comportement des polyèdres. Ces derniers ont été administrés selon la méthode mentionnée plus haut, sous forme de suspension de corps d'inclusion purifiés, à la concentration très forte de 2.000.000 d'éléments par mm^3. Après l'ingestion de la suspension, la technique d'anesthésie et de dissection précédemment mentionnée a été suivie. Le tableau n° I B, résume les observations effectuées dans les différentes parties du tube digestif à divers moments après l'ingestion. Remarquons que le temps nécessaire à l'anesthésie empêche de se rendre compte du sort des polyèdres pendant les 3 premières minutes.

Les polyèdres infectieux arrivent en quelques secondes dans l'intestin antérieur où leur nombre va croissant pendant les 10 premières minutes comme c'est le cas pour tout élément figuré. Cependant, au cours de cette accumulation ils perdent leur réfringence et au bout de 6 à 8 minutes ils deviennent presque méconnaissables. Ils passent avec l'aliment, en quelques minutes, dans la partie antérieure du méso-intestin où la désagrégation continue. L'avancement du contenu intestinal vers la partie postérieure de l'intestin moyen ne véhicule que des débris de polyèdres de moins en moins caractéristiques pour être reconnus avec certitude parmi les éléments hétérogènes du contenu intestinal. Toutefois, de très rares corps d'inclusion restent intacts. Ainsi, à la cadence de l'avancement normal des éléments figurés avec l'aliment, les corps d'inclusion de virus ingérés sont détruits en grande partie avant leur arrivée dans la partie postérieure du méso-intestin et pratiquement en totalité quand ils quittent cette région du tube digestif.

Ce phénomène se produisant dans le suc intestinal, est étroitement lié à l'alcalinité élevée de ce dernier, bien que certains enzymes puissent cependant jouer un rôle complémentaire. En effet, la réaction de l'intestin antérieur est pH 8-9 et celle du méso-intestin, pH 9-9, 6. Cette alcalinité peut agir aisément sur les corps d'inclusion malgré la vitesse avec laquelle ces éléments avancent, car ceux-ci disparaissent sous cet effet, en tant qu'entités polyédriques, avant d'avoir traversé le méso-intestin encore très alcalin.

III. — EFFET DU SUC INTESTINAL SUR LES CORPS D'INCLUSION

Les expériences relatées ci-dessus ayant montré que les corps d'inclusion subissent certaines altérations pendant leur passage dans le tube digestif, nous avons envisagé l'examen détaillé de ces lésions.

Dans ce but, il était indispensable de pouvoir suivre l'action du suc

intestinal hors de l'organisme afin que l'évolution des changements puisse être observée d'une façon ininterrompue.

Les corps d'inclusion obtenus à partir de l'hémolymphe de *B. mori* virosé, ont été purifiés par centrifugation différentielle et suspendus dans l'eau distillée à raison de 10.000 corpuscules par cc. Une goutte de cette suspension a été étalée à l'aide d'une pipette Pasteur effilée, sur des lamelles couvre-objet et desséchée à 30°C.

Des larves de *Bombyx* au milieu du 5e âge ayant jeûné pendant un repas, ont été disséquées après anesthésie totale afin de libérer, grâce à une incision dorsale, le tube digestif entier. En introduisant par piqûre à travers la paroi intestinale une pipette doublement effilée dans la partie antérieure du méso-intestin, le suc intestinal jaune-verdâtre et limpide monte par capillarité dans la partie simplement effilée. Une goutte du liquide prélevé fut alors déposée immédiatement sur les lamelles de microscopie en contact avec la goutte desséchée de polyèdres. La lamelle est alors retournée sur une lame creuse dont la partie concave est entourée d'une couche mince de vaseline. On examine immédiatement au contraste de phase à un grossissement de 850 X. Les opérations qui viennent d'être décrites doivent s'effectuer très rapidement (en moins d'une minute) afin de ne pas manquer le début des altérations.

L'action du suc intestinal a été doublement enregistrée. D'une part, les changements morphologiques des corps d'inclusion ont été notés chaque 10 secondes au cours d'observations ininterrompues, d'autre part, des microphotographies en séries ont été prises sur un même champ microscopique toutes les 10 secondes au cours du déroulement des altérations. Ce double procédé a permis de suivre, d'abord les changements survenus en fonction du temps dans l'ensemble des polyèdres en contact avec le suc intestinal, ensuite l'évolution des lésions sur un seul corps d'inclusion.

a) Action globale du suc intestinal.

Quand un certain nombre de polyèdres entre en contact avec le suc intestinal, on observe en peu de temps un mouillage complet de la surface de ceux-ci. Au bout de 2 minutes, certains corps perdent leur forme hexagonale et cette altération s'étend dans 4 à 5 minutes à la majorité des éléments. 6 à 7 minutes après la mise en contact, quelques-uns perdent leur réfringence et se désagrègent. Bientôt on rencontre tous les stades de ce processus : certains polyèdres sont intacts avec une forte réfringence, d'autres s'arrondissent et quelques-uns ont déjà perdu leur forme.

Vers les 9e-10e minutes, les fragments deviennent de plus en plus petits, leur forme est méconnaissable et le suc intestinal est rempli de ces particules animées de mouvements browniens. L'altération des corps d'inclusion ingérés se déroule ainsi, d'une façon irrégulière, sur l'ensemble

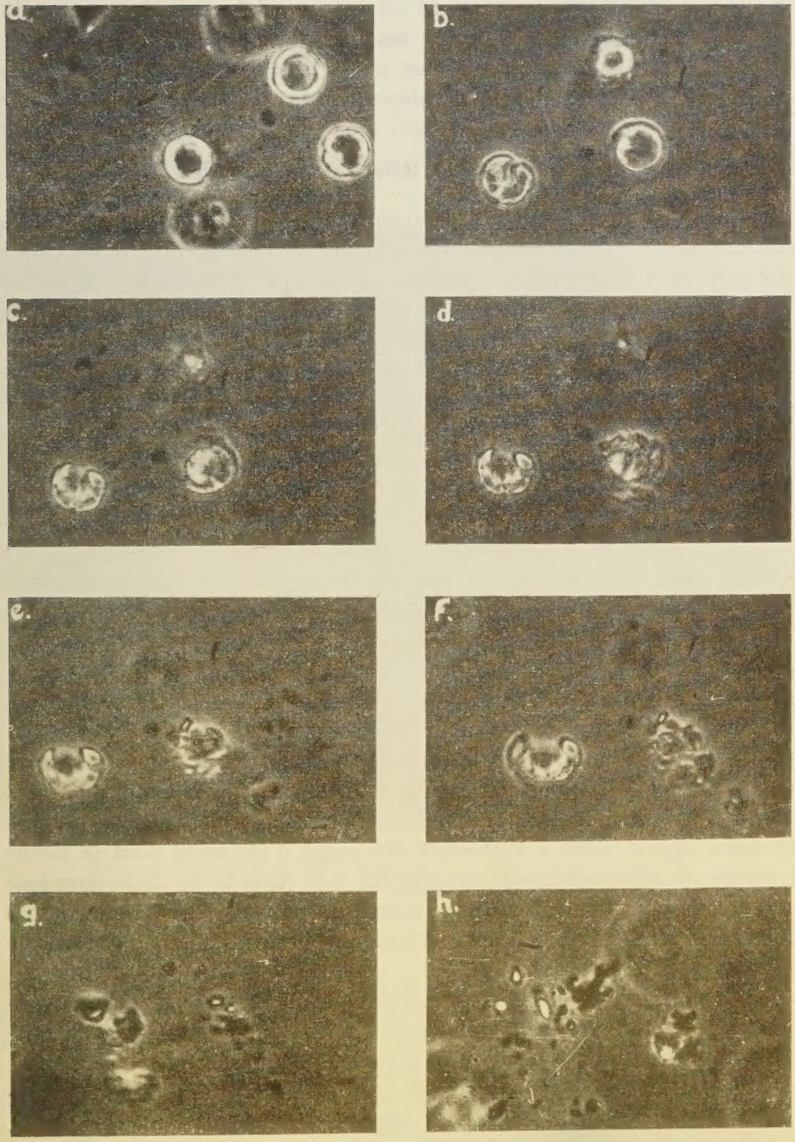


FIG. 1. — Effet du suc intestinal de *Bombyx mori* sur les corps d'inclusion de *Borrelinavirus bombycis* ingérés. Prise automatique de séries de vues au contraste de phase 1000 X. — Durée d'action : a : 50 secondes. — b : 110 secondes. — c : 130 secondes. — d : 150 secondes. — e : 180 secondes. — f : 210 secondes. — g : 230 secondes. — h : 300 secondes.

d'un grand nombre de polyèdres. Certains polyèdres sont attaqués rapidement alors que d'autres restent intacts quand les premiers sont déjà désagrégés. Malgré ces différences, on peut considérer que pratiquement tous les polyèdres ingérés en même temps, disparaissent au bout d'une dizaine de minutes dans le suc intestinal.

b) Evolution des lésions sur un polyèdre.

Afin de suivre en détail le processus de l'altération, il était indispensable d'observer d'une façon ininterrompue l'action du suc intestinal sur un seul polyèdre. Les difficultés techniques, pour réaliser de telles observations étaient nombreuses. Elles résidaient essentiellement dans le détachement du corps d'inclusion de la lamelle au cours de la fragmentation, celui-ci échappant de ce fait à la profondeur de la préparation mise au point préalablement, et disparaissant complètement ensuite dans la goutte de suc intestinal. Aussi a-t-il été nécessaire de commencer l'examen des altérations sur plus d'une centaine de polyèdres afin de pouvoir enregistrer et photographier le cycle complet sur une quinzaine d'entre eux.

Dans tous les cas observés, ce cycle se déroule d'une façon assez comparable. Après la mise en contact et le mouillage immédiat par le suc intestinal, on observe une période de 40 à 60 secondes sans signes perceptibles et pendant laquelle le polyèdre conserve sa réfringence et sa forme normales.

Après l'apparition d'une entaille à peine visible sur le bord du polyèdre toujours brillant (fig. 1 a), le processus s'accélère. Les fentes s'accentuent, se multiplient et 40-50 secondes plus tard, certaines traversent entièrement le corps d'inclusion (fig. 1 b). Puis progressivement dans les 120 à 140^{e} secondes, les particules sont prêtes à se détacher. Des zones opaques apparaissent à l'intérieur des corps d'inclusion dont la forme hexagonale a pratiquement disparu (fig. 1 c). Vers la fin de la troisième minute, le détachement des fragments se produit d'une façon plus ou moins instantanée (fig. 1 d, e). Sur certains polyèdres, il a lieu sous forme d'une véritable explosion.

Le polyèdre perd subitement toute sa réfringence ; quelques fragments restés brillants se détachent sous forme de « peau d'orange » laissant apparaître une zone interne granuleuse sans réfringence (fig. 1 f). Les fragments détachés demeurent encore ensemble pendant une quarantaine de secondes formant un agglomérat mat, puis ils s'éloignent, s'animent de mouvements browniens, se dissolvent et se dispersent en même temps que la zone granuleuse se désagrège (fig. 1 g). Au bout de 4 minutes, ce ne sont que des fragments minuscules méconnaissables qui témoignent du passage d'un polyèdre ingéré dans le suc intestinal (fig. 1 h).

IV. — PROCESSUS DU DÉGAGEMENT DES VIRUS

Sachant depuis une dizaine d'années que les corps d'inclusion polyédriques renferment des virus (1,7), nous avons envisagé d'examiner le sort de ces derniers au cours de la désagrégation des polyèdres dans le suc intestinal. Ces observations ont été faites au microscope électronique Siemens, le contact des polyèdres avec le suc intestinal étant effectué

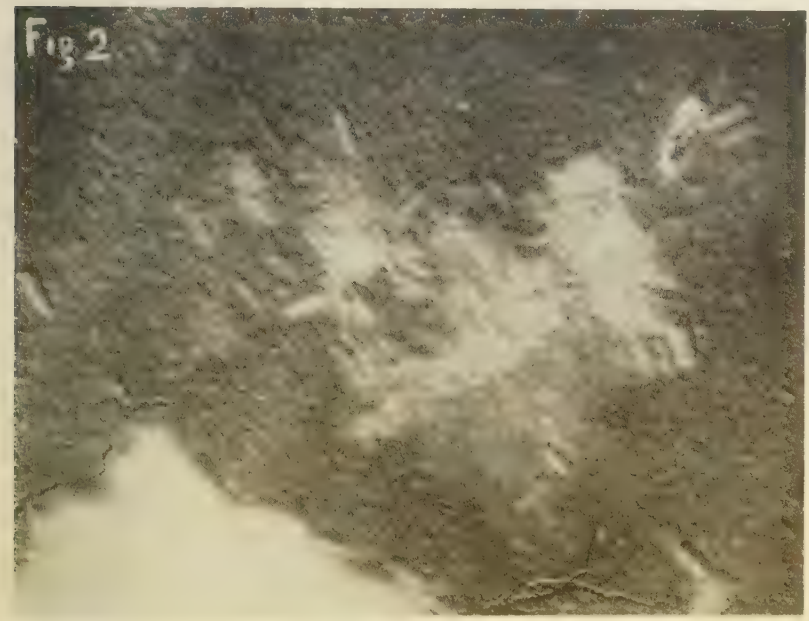


FIG. 2. — Désagrégation avancée des corps d'inclusion sous l'effet du suc intestinal. Les particules de virus commencent à apparaître dans les masses de polyèdres en voie de dissolution. Micr. électr. Siemens, ombrage palladium X 31 000.

sur grilles recouvertes d'une membrane de Formvar. La déposition d'une goutte de suspension de polyèdres, la dessiccation de celle-ci et la mise en contact avec le suc intestinal ont été réalisées d'une façon comparable à la technique suivie pour l'examen au contraste de phase. Toutefois, la concentration des polyèdres a dû être diminuée 20 fois afin d'éviter l'éclatement de la membrane de Formvar. La sédimentation des polyèdres a également été limitée en retirant le surnageant de la suspension après 30 minutes de séjour sur la grille.

Afin d'obtenir toute la gamme de la progression des altérations, la

durée du contact a été échelonnée de 30 secondes à 20 minutes. L'action du suc a été arrêtée par son absorption complète suivie de lavages sous forme de gouttes d'eau bi-distillée déposées sur la grille (deux fois pendant 5 minutes) et réabsorbées ensuite. Les préparations une fois séchées ont été ombrées au palladium et examinées au microscope électronique Siemens.

La formation des fissures, premier signe de l'attaque alcaline observé au contraste de phase, peut être repérée également au microscope élec-

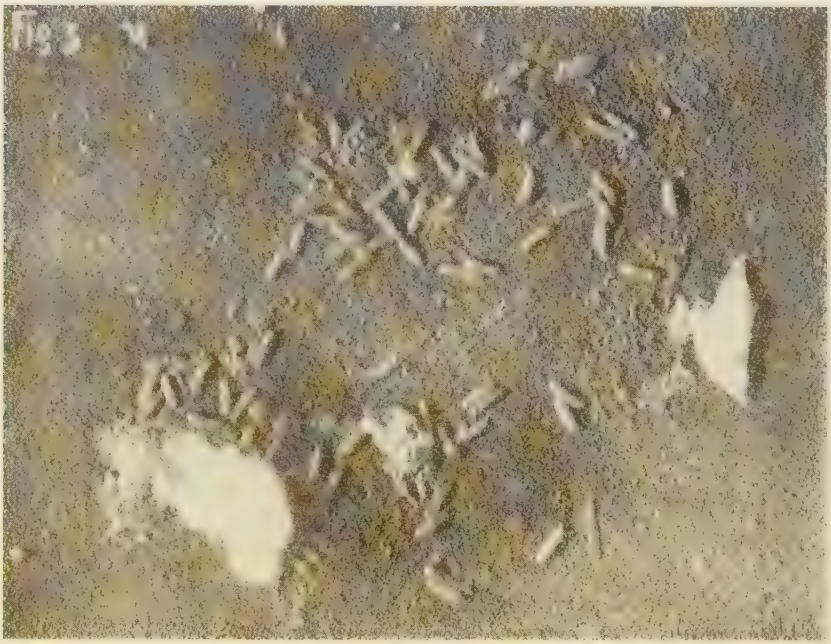


FIG. 3. — Particules de virus dégagés après l'action prolongée du suc intestinal sur les polyèdres. Micr. électr. Siemens, ombrage palladium X 31 000.

tronique sur des polyèdres opaques. Cette opacité disparaît à un stade plus avancé des altérations, soit au bout de 100 à 130 secondes de contact avec le suc intestinal, stade correspondant au détachement progressif des fragments corticaux. A ce moment-là (fig. 2) apparaissent autour des polyèdres en voie de désagrégation de nombreux éléments bacilliformes aux dimensions constantes ayant une longueur moyenne de 270 mμ, sur une largeur moyenne de 60 mμ. Ces dimensions correspondent à celles des virus libres de *Borrelinavirus bombycis*. Toutefois, ils sont entourés d'une membrane et ils peuvent être assimilés ainsi au stade « enrobé » dont nous avons signalé la formation dans les noyaux cellulaires et

montré l'intégration dans les corps d'inclusions (16). Ces éléments apparaissent souvent groupés autour des fragments de polyèdres et plus rarement éloignés d'une façon irrégulière (fig. 3). A un stade plus avancé de la désagrégation, correspondant à environ 300 secondes de contact, les fragments des corps d'inclusion deviennent amorphes et les virus se dispersent.

Ensuite, les débris des polyèdres disparaissent et seuls les virus libérés persistent dans le suc intestinal. Les corps d'inclusion sont dégradés au point de ne pouvoir être décelés au microscope électronique. Des virus globulaires ou des faisceaux de bâtonnets parallèles, formes décrites au cours des essais de purification des *Borrelinavirus* (1, 2), n'ont pas pu être observés. Seuls, quelques bâtonnets pliés et recourbés diffèrent des éléments bacilliformes « enrobés » qui paraissent représenter la forme habituelle sous laquelle les virus se dégagent des polyèdres dans le tube digestif. Cette forme correspondant à celle que prennent les virus libres dans les noyaux virosés avant qu'ils soient enfermés dans les corps d'inclusion (16), aucun changement morphologique ne semble avoir lieu dans le cycle du virus pendant la phase de groupement polyédrique.

V. — VIRUS LIBRES DANS L'INTESTIN

Les virus dégagés des polyèdres échappent à l'observation dès qu'ils s'éloignent du corps d'inclusion en voie de désagrégation. Nous avons pensé pouvoir les saisir en les concentrant à partir du suc intestinal.

Après 10 à 60 minutes de contact avec le suc et l'arrêt de l'action de celui-ci par dilution (30 fois) à l'eau distillée, les débris cellulaires et les corps d'inclusion désagrégés ont été éliminés par centrifugation à 6.000 t m. Les virus ont été recherchés à la suite de deux centrifugations d'une heure à 15.000 t m en retenant le culot de la dernière centrifugation en suspension dans $Na^2\ CO^3$ à 0,0001 M.

L'examen au microscope électronique montre au début du contact, la présence d'éléments bacilliformes correspondant aux virus enrobés dont nous venons de suivre le dégagement. Après un contact prolongé, nous retrouvons souvent les mêmes éléments et également des formes endommagées et fractionnées. Les éléments courts sont fréquents.

Ces observations montrent le maintien des virus dans leur membrane, pendant un certain temps, mais elles soulignent aussi l'effet nocif pour ceux-ci d'un long séjour dans le suc intestinal.

Les essais de vérification du pouvoir infectieux de ces fractions de purification, ont été en accord avec les données de microscopie électronique.

Le test employé était basé sur le fait que les larves de *Bombyx* à

l'éclosion mangent obligatoirement une fraction du chorion de l'œuf. Ce dernier étant contaminé, les larves néonathes s'infectent aisément et l'évolution de la virose est rapide. Cinq séries de trois lots de 10 œufs de race Bagdad ont été traitées pendant 5 minutes, immédiatement avant l'éclosion, respectivement avec de l'eau distillée et avec les suspensions dans 1 cc d'eau distillée des culots de centrifugations après 10 et 60 minutes de contact avec le suc intestinal. La mortalité moyenne par virose pendant les deux premiers âges, était absente dans la première catégorie, égale à 42 p. 100 dans la deuxième et à 12 p. 100 dans la troisième. Le 10e jour de la vie larvaire, l'expérience a été arrêtée sachant, grâce à des travaux antérieurs, que l'infection virusale épiovulaire se traduit par une mortalité précoce (14).

Ces essais montrent la présence d'éléments infectieux dans le culot de centrifugation obtenu après une courte digestion et un plus faible effet dans le cas d'un contact prolongé. Il semble ainsi, qu'une inactivation ait lieu au cours de la digestion, bien que les virus libres, enrobés de membrane, résistent pendant un certain temps à un tel effet.

VI. — CONCLUSIONS

Un ensemble de procédés de microscopie électronique, contraste de phase et contamination épiovulaire, a permis de suivre de près le début de l'infection par les *Borrelinavirus*. Cette phase de la pathogénèse, étudiée sur *Bombyx mori*, débute par l'ingestion des corps d'inclusion polyédrique du virus, lesquels avancent avec la rapidité des particules foliaires ingérées. Ils arrivent en quelques secondes dans l'intestin antérieur, ensuite progressivement et en nombre plus réduit dans la partie antérieure du méso-intestin, enfin en quantité minime dans sa partie terminale. Cette diminution est due à une désagrégation progressive résultant de l'alcalinité élevée (pH 8,5-10) et des enzymes de la première partie du tube digestif.

Le processus commence par des fissions latérales et continue au bout de 140-160 secondes par le détachement souvent sous forme d'explosion, de fragments corticaux avec différenciation d'une zone centrale granulaire. En même temps, des virus bacilliformes se dégagent près des fragments tout en conservant leurs membranes et restent d'abord accumulés en grand nombre. Ensuite, au cours de la désagrégation avancée des polyèdres ils se dispersent.

Le processus de libération des virus dans le tube digestif apparaît ainsi comme une réaction particulièrement rapide, presque instantanée. En effet, les altérations se déroulent pour un polyèdre donné en quatre minutes au maximum. Pour un ensemble de corps d'inclusion ingérés le

dégagement est échelonné, mais il se termine avant que les polyèdres arrivent dans la partie postérieure du méso-intestin.

Les éléments subsistant dans toutes les parties du méso-intestin sont alors des virus libres sous forme de corpuscules bacilliformes recouverts d'une membrane. Ils peuvent être purifiés à partir du suc intestinal, restent virulents pendant un certain temps et par suite sont susceptibles de déclencher, après avoir traversé les tissus intestinaux, des lésions intranucléaires.

Les virus sont d'autre part, endommagés par un long trajet dans le tube digestif, ce qui rend invraisemblable la dissémination de la virose par l'intermédiaire des déjections des larves ayant ingéré des corps d'inclusion.

Reçu pour publication le 18 *novembre* 1958.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) Bergold (G. H.). — Die Isolierung des Polyeder-virus und die Natur der Polyeder. *Z. Naturforsch.*, **2**, 122, 1947.

(2) Bergold (G. H.). — The multiplication of Insect viruses as organisms. *Canad. Journ. Res.*, **28**, 5, 1950.

(3) Bird (F. T.). — On the multiplication of an Insect virus. *Biochem. Biophys. Acta*, **8**, 360, 1952.

(4) Fedeli (A.), Veneroso (A.). — Contributo alla conoscenza della flaccidezza. *Boll. R. Staz. Gels. Bach. Ascoli Piceno*, **13**, 153, 1934.

(5) Hughes (K. M.). — The development of an Insect virus within cells of ist host. *Hilgardia*, **22**, 391, 1953.

(6) Hughes (K. M.). — An annoted list and bibliography of Insects reported to have virus diseases. *Hilgardia*, **26**, 597, 1957.

(7) Paillot (A.), Gratia (A.). — Essai d'isolement du virus de la grasserie des vers à soie par l'ultracentrifugation. *Arch. Ges. Virusforsch.*, **1**, 120, 1939.

(8) Shinoda (O.). — On the starch digestion in the silkworm. *Ann. Zool. Japan.*, **13**, 117, 1931.

(9) Smith (K. M.), Xeros (N.). — Electron and light microscope studies of the development of the virus rods of insect polyhedroses. *Parasitol.*, **44**, 71, 1954.

(10) Steinhaus (E. A.). — Principles of Insect Pathology. Mc Graw-Hill Book Comp., Inc., New-York, 417, 1949.

(11) Vago (C.). — Differenzierungsverfahren zur mikroskopischen Darstellung der Penicilliumsporen. *Rev. Suisse de Path. et de Bact.*, **7**, 259, 1947.

(12) Vago (C.). — Emploi du Bleu Victoria pour la mise en évidence des polyèdres dans les maladies à ultravirus d'Insectes. *Bull. Microsc.*, 2, 21, 1952.

(13) Vago (C.). — Différenciation des corps d'inclusion des viroses d'Insectes au contraste de phase. *Mikroskopie*, **9**, 187, 1954.

(14) Vago (C.). — Limites biologiques du traitement désinfectant sur œufs d'Insectes à l'hydroxyde de potassium contre les virus du groupe *Borrelina*. *C. R. Soc. Biol.*, **148**, 255, 1954.

(15) Vago (C.), Croissant (O.), Lepine (P.). — Démonstration au microscope électronique du développement intranucléaire du virus de la grasserie. *Ann. Inst. Pasteur*, **89**, 364, 1955.

(16) VAGO (C.), CROISSANT (O.), LEPINE (P.). — Analyse au microscope électronique de la formation des polyèdres à partir des virus intranucléaires de la grasserie. *Ann. Inst. Pasteur* (en cours d'impression), 1958.

(17) VOLTATTORNI (S.). — Contributo alla conoscenza della citologia dell' épitelio intestinale del *Bombyx mori* L. *Boll. R. Staz. Sper. Gels. Bach. Ascoli Piceno*, **15**, 109, 1936.

ESSAIS DE LUTTE CONTRE LA MOUCHE DE LA BETTERAVE (*Pegomyia betae* Curtis — DIPTERES *Muscidae*) (1)

PAR

J. MISSONNIER

PLAN DU MÉMOIRE

Principes généraux de la lutte contre la Mouche de la Betterave.
A) Rappel des principaux traits de la biologie.
B) Méthodes de lutte.

Essais expérimentaux de lutte effectués en 1957 et en 1958.
A) Conditions et modalités.
B) Premier essai.
C) Deuxième série d'essais.

Conclusions.

Bibliographie.

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA LUTTE CONTRE LA MOUCHE DE LA BETTERAVE

A. — RAPPEL DES PRINCIPAUX TRAITS DE LA BIOLOGIE

La Mouche de la Betterave ou Pégomyie (*Pegomyia betae* Curtis) est un insecte très commun dans les cultures de la moitié nord de la France. Elle présente trois générations par an, au cours des mois de mai, de juillet et d'août-septembre, mais seule la première est dangereuse : les

(1) Ces essais ont été entrepris à la Station Centrale de Zoologie Agricole, à Versailles, avec la collaboration technique de Mme R. Hogrel et de M. J. Chansigaud. Ils ont été achevés au Laboratoire de Recherches de Zoologie de l'École Nationale d'Agriculture de Rennes, avec la collaboration technique de M. B. Sourès.

conditions climatiques du mois de mai lui sont habituellement très favorables et les jeunes betteraves sont plus gravement atteintes que les betteraves âgées.

Les adultes déposent leurs œufs sur la face inférieure du limbe : la larve pénètre directement dans la feuille. Le développement larvaire s'effectue entièrement dans l'épaisseur des tissus foliaires qui peuvent être totalement détruits à l'exception des deux épidermes. La pupaison a toujours lieu en terre, à quelques centimètres de profondeur. Les pupes formées à partir du mois d'août hivernent.

Les attaques de Pégomyie ont une importance extrêmement variable d'une année à l'autre, d'une région à une autre. Elles sont difficiles à prévoir : la mortalité des jeunes âges larvaires est toujours considérable ; la présence d'un grand nombre d'œufs n'est donc pas forcément suivie de dégâts graves, particulièrement en été. Les fortes chaleurs des mois de juin, de juillet et d'août tuent les œufs et les larves : elles maintiennent habituellement les populations de Pégomyie à un niveau suffisamment bas pour qu'elles ne soient pas nuisibles. Seule, l'importance de la première génération pourrait être prévue, car elle est liée à celle des deux dernières générations de l'année précédente ; mais, le plus souvent, l'augmentation numérique des populations au cours de l'été et de l'automne passe inaperçue en raison de l'état de végétation des betteraves.

B. — MÉTHODES DE LUTTE

Il s'agit avant tout de limiter des dégâts dus à la première génération.

1. Action sur la plante hôte.

Tout ce qui peut accroître la vigueur de la plante doit être conseillé. En dehors de cela, il est difficile de recommander l'emploi systématique de méthodes culturales particulières (modification des dates de semis, de démariage) en raison de l'importance imprévisible des attaques ; de plus, les dates de sortie et de ponte peuvent varier notablement. Cependant, on pourra retarder le démariage de quelques jours s'il doit avoir lieu au moment où les pontes sont importantes : on évitera ainsi la concentration d'un grand nombre d'œufs sur un faible nombre de plantes.

2. Méthodes préventives.

Elles sont peu intéressantes en raison du caractère très sporadique des attaques qui les rend le plus souvent inutiles, et des difficultés de leur réalisation qui implique, *a priori*, une action généralisée à toute une contrée.

La lutte contre les adultes, en particulier, nécessiterait plusieurs traitements en raison de l'échelonnement des sorties ; elle devrait être effectuée, pour une région donnée, soit dans toutes les terres qui portaient des betteraves l'année précédente, soit dans tous les champs nouvellement ensemencés. Les bouillies insecticides, qui devraient être additionnées d'un appât (sucre ou mélasse,, seraient difficiles à préparer. Aussi, ce procédé de lutte, d'intérêt douteux, serait-il très coûteux ; il nécessiterait de plus la mise en place d'un dispositif d'observation des sorties (récolte de larves, enfouissement des pupes, etc.) alors que la lutte contre les larves est basée sur la seule observation des pontes et de l'évolution larvaire.

La lutte contre les adultes a été la première méthode de protection employée contre la Pégomyie, à une époque où les insecticides connus étaient peu nombreux : Bremer et Kaufmann (1927) utilisaient le fluorure de soude. Des tentatives récentes d'utilisation de ce procédé avec les produits de synthèse modernes n'ont pas été suivies d'applications pratiques (Ernould 1948, Portier 1957).

3. **Méthodes curatives.**

La lutte contre les larves permet d'intervenir en cas de nécessité seulement ; elle est plus économique et facile à exécuter.

Les larves sont en effet atteintes aisément par la plupart des produits insecticides, à l'intérieur même de leurs galeries. Elles n'y sont protégées que par les deux épidermes de la feuille : ceux-ci ne sont plus que des membranes mortes. Les premières tentatives de destruction des larves ont été effectuées à l'aide de bouillies nicotinées (Kemner 1925, Bremer et Kaufmann 1931). Depuis la plupart des produits modernes ont été essayés.

L'emploi du DDT, du déméton et du déméton méthylé est déconseillé par la plupart des expérimentateurs (Ernould 1947, Nolte et Klinkowski 1950, Missonnier 1955), mais il ne l'est pas par Dunning (1950). Par contre, les esters phosphoriques parathion, parathion méthylé diazinon, dipterex, chlorthion, à l'exception du malathion, la dieldrine l'heptachlor sont unanimement recommandés (auteurs précédemment cités et de Lint et Meyers 1955, Stenvers 1956, Bollow 1956, Portier 1957, Kolbe 1958). L'H. C. H., le toxaphène, le chlordane donnent lieu à des appréciations variables : ils ne sont préconisés, éventuellement qu'à forte dose. Tous ces produits doivent être employés sous forme de bouillie ; les esters phosphoriques utilisés en poudrage ont donné de bons résultats (Nolte et Klinkowski, Missonnier).

L'adjonction de sucre ou d'appâts divers aux traitements larvicides, dans le but d'attirer et de détruire les adultes, n'est pas intéressante en

raison de l'augmentation du prix de revient, des difficultés de préparation des bouillies ; il est peu probable *a priori* que cette méthode fasse preuve d'une plus grande efficacité, étant donné que les adultes restent dans les champs, sur les betteraves, quand la ponte est commencée ; ils entrent donc à coup sûr en contact avec les produits. Les essais réalisés dans cette voie n'ont d'ailleurs pas donné de résultats satisfaisants (Portier 1957).

Les fortes attaques de Pégomyie qui ont caractérisé les années 1954 à 1957 ont contraint beaucoup de cultivateurs à effectuer des traitements larvicides : ils disposaient de produits très efficaces mais un certain nombre de problèmes d'application se sont posés ; ils concernaient notamment :

1° La détermination du moment le plus favorable au traitement, en fonction du stade végétatif.

2° L'intérêt de l'emploi de produits très persistants.

Une solution à ces différents problèmes a été recherchée au cours des essais effectués en 1957 et en 1958. Des produits nouveaux ont été expérimentés.

ESSAIS EXPÉRIMENTAUX DE LUTTE EFFECTUÉS EN 1957 ET EN 1958 CONTRE LA MOUCHE DE LA BETTERAVE

A. — CONDITIONS ET MODALITÉS D'EXPÉRIMENTATION

1. Le problème Pégomyie en 1957.

Il fallait s'attendre à des sorties extrêmement importantes d'adultes de Pégomyie, en raison des fortes pullulations qui avaient été constatées au cours de l'été 1956, dans toutes les régions situées au nord de Paris, de la Normandie à la frontière belge. L'année 1957 a été marquée par un printemps précoce ; le relèvement anormal de la température au cours du mois de février a provoqué l'apparition des premiers adultes vers le 5 mars, avec plus d'un mois d'avance sur les années normales. Les sorties se sont réparties de la manière suivante, dans la région de Versailles :

10 p. 100 du 15 mars au 3 avril 1957
85 p. 100 du 3 avril au 24 avril 1957
5 p. 100 du 24 avril au 15 mai.

Les dates d'éclosions des œufs ont également été en avance par rapport à celles des années précédentes, mais cette avance a été plus faible que pour les pontes, en raison des températures fraîches qui ont caractérisé le mois d'avril. Les éclosions ont eu lieu en grand nombre à partir des derniers jours de ce mois. Les populations de larves âgées ont atteint leur maximum de développement entre le 15 et le 30 mai, quelques jours

plus tôt seulement qu'en 1956. Habituellement les pontes importantes ont lieu au début mai ; les éclosions s'effectuent au cours de la deuxième décade de ce mois et les larves en fin d'évolution sont très nombreuses entre le 25 mai et le 5 juin.

Dans ces conditions, les betteraves ont subi les attaques de Pégomyie plus tôt en saison, alors qu'elles n'étaient souvent qu'au stade cotylédonaire ou au stade deux feuilles : les dégâts ont été attribuables à l'abondance des très jeunes larves. En 1957, les traitements les plus intéressants furent effectués au cours des premiers jours du mois de mai, au moment du maximum des éclosions.

Au cours des années précédentes où les pullulations étaient faibles les dégâts étaient surtout dus aux larves âgées ; plus tardifs, ils intéressaient des betteraves plus développées.

2. **Essais effectués. Modalités d'expérimentation.**

Trois essais ont été effectués en 1957 dans les champs de l'Institut National de la Recherche Agronomique, à la ferme expérimentale de la Minière, près de Versailles.

Le premier (essai n° 1) a eu lieu le 2 mai sur des betteraves qui étaient au stade cotylédonaire ; il a permis de montrer l'intérêt de la protection des cotylédons : ce problème préoccupait alors beaucoup d'agriculteurs.

Les deux autres traitements ont été réalisés le 16 mai (essai n° 2) et le 1er juin (essai n° 3) sur des betteraves porte-graines : le premier a permis de mesurer la durée d'action des produits utilisés. Le deuxième a été un simple essai larvicide complété en 1958 par une dernière série de traitements : elle a été effectuée également sur des betteraves porte-graines, le 21 mai, dans les marais de Dol de Bretagne (1) (Ille-et-Vilaine) (essai n° 4). Au cours de ces séries de tests insecticides, les mêmes produits ont été expérimentés à des doses différentes. Ils ont fait l'objet par ailleurs d'un essai ovicide de laboratoire (essai n° 5).

Tous les essais ont été réalisés à l'aide d'appareils de pulvérisation à dos du type « Pulvorex », par parcelles de 100 m², avec deux répétitions et trois parcelles témoin pour chacune. Tous les produits testés étaient présentés sous forme d'émulsion.

Les méthodes d'estimation des résultats ont varié : dans la plupart des parcelles traitées, le nombre total des larves au deuxième et au troisième âges, mortes et vivantes, a toujours été très inférieur à celui des larves présentes dans les lots témoins. Aussi le pourcentage des larves vivantes des différents lots, exprimé par rapport aux lots témoins, a été

(1) Cet essai a été réalisé dans le champs de l'École d'Agriculture du Collège Saint Magloire de Dol, grâce à l'extrême obligeance de Monsieur le Principal du Collège, de Monsieur l'Abbé Joucan et de Monsieur l'Abbé Renault, Professeurs d'Agriculture. Nous les remercions vivement de l'aide qu'ils nous ont apportée.

le meilleur critère d'efficacité des produits. Les larves qui n'ont pas été trouvées, avaient abandonné leurs galeries et étaient mortes à l'extérieur.

Pour le premier essai, le degré de destruction du feuillage a également servi de test d'efficacité : sur chaque plante prélevée dans les parcelles expérimentales, on établissait le rapport entre la surface de limbe détruite par les galeries et la surface totale des cotylédons, pour chaque couple de feuilles pris séparément, en utilisant l'échelle de destruction 0, 1 8, 1 4, 1 2, 3 4 et 1.

Pour le premier essai, les prélèvements ont été effectués par arrachage de toutes les plantes sur quatre fois 15 cm de ligne par parcelle ; pour les trois autres, toutes les feuilles attaquées de quinze pieds pris au hasard ont été prélevées. Dans tous les cas, les numérations ont été effectuées en laboratoire.

Les conditions climatiques des mois d'avril et de mai 1957 ont été les suivantes, à Versailles :

Températures moyennes sous abri et précipitations en mm, par périodes de cinq jours.

		1 au 5	6 au 10	11 au 15	16 au 20	21 au 25	26 au 30
Avril	Temp.	7,9	6,6	4,8	9,9	11,1	10,8
	Pluie			1,3		1,7	15,2
Mai	Temp.	8,9	7,8	13,2	11,8	11,1	12,4
	Pluie		6,4	9,1	5,3	7,6	

B. — PREMIER ESSAI

Il a été réalisé le 2 mai sur des betteraves fourragères semées en lignes ; elles étaient au stade cotylédonaire ; la première paire de feuilles commençait à peine à se former. Les pontes de Pégomyie étaient nombreuses, les premières éclosions avaient eu lieu mais il n'y avait pas encore eu de destruction appréciable des cotylédons. Les prélèvements ont été faits les 9, 16 et 22 mai, c'est-à-dire 7, 14 et 20 jours après le traitement. Durant cette période, l'évolution des plantes et celle des populations de Pégomyie dans les zones témoins ont été les suivantes : (voir tableau I).

L'examen de ce tableau attire immédiatement deux remarques :

1° A partir du moment où la première paire de feuilles s'est déployée, il n'y a pratiquement plus eu de pontes sur les cotylédons.

2° Dans les conditions naturelles, les larves au deuxième âge ont été capables de migrer des cotylédons vers les feuilles.

Les produits employés, les doses de matière active utilisées à l'hectare, exprimées en grammes (M. A. Ha) et les principaux résultats rapportés à 100 betteraves sont donnés dans le tableau II.

Tableau I

Evolution des Betteraves et des populations de Pégomyie dans les parcelles témoin, au cours de l'essai n° 1.

Date	Stade végétatif	Etat des populations de Pégomyie (1) sur : Cotylédons	1e paire de feuilles	2e paire de feuilles
2 Mai ..... (Traitement)	Cotylédons. 1e paire de feuilles enroulées (10 mm)	30 œufs, 70 L_1		
9 Mai	2 feuilles de 2 cm	22 œufs, 76 L_1, 15 L_2, 2 L_3.	127 œufs, 10 L_2, 1 L_3.	
16 Mai	apparition de la 3e paire de feuilles (10-12 mm)	1 œuf, 4 L_1, 1 L_2	106 œufs, 23 L_1, 9 L_2, 24 L_3.	15 œufs, 2 L_2, 2 L_3.
22 Mai	apparition de la 4e paire de feuilles (12-15 mm)			

(1) Le développement de la Pégomyie s'effectue au cours de trois âges larvaires désignés ici par L_1, L_2 et L_3.

Tableau II

Produits employés au cours de l'essai n° 1.
Evolution des populations de Pégomyie dans les différentes parcelles.

Produits (Emulsions)	M. A./Ha	% L_1 mortes au 7e jour sur cotylédons	Pontes sur la 1re paire de feuilles au 7e jour (1)	Pontes sur la 1re paire de feuilles au 14e jour	Nombre de L_3 recueillies au 20e jour
Témoin	—	0	96	199 (2)	35 (2)
Dieldrine	300	96	187	610	17
Parathion	200	85	165	460	80
Diazinon	180	97	215	665	84
Diazinon + DDT	180 400	95	106	630	25
Dipterex	300	97	194	550	46
Dipterex + chlorthion	150 150	96	222	620	69

(1) Il n'y avait pratiquement pas eu d'éclosion au septième jour parmi les œufs déposés sur la première paire de feuilles.
(2) Les dégâts, dus aux larves qui avaient migré des cotylédons vers les feuilles, ont entraîné une diminution de la ponte sur les parcelles témoins et une forte mortalité ultérieure par manque de nourriture ; les très jeunes larves ont éprouvé de grandes difficultés à gagner les feuilles saines.

Résultats du 1er essai.

L'examen du tableau II montre que sept jours après le traitement, les pontes étaient à peu près aussi nombreuses sur toutes les parcelles, traitées ou non, à l'exception de celles qui avaient reçu le mélange diazi-

non-DDT ; cette différence avait disparu au quatorzième jour. Au septième jour, aucune plante n'était plus toxique pour les adultes : ceci a été prouvé en maintenant des Pégomyies pendant plusieurs jours dans des bocaux fermés où étaient placées des betteraves des différents prélèvements : nulle part il n'y a eu de mortalité. Ces faits sont normaux, étant donné que seuls des cotylédons ont été traités ; au bout de huit jours, non seulement les produits ont pu être détruits ou entraînés, mais il s'est produit en outre une augmentation considérable de la surface foliaire.

Malgré cette disparition très rapide de tous les produits et les conditions particulières du traitement, il est apparu de petites différences dans les dégâts et dans les populations larvaires, en fonction de la durée d'action des produits : c'est ainsi que le nombre de larves en fin de développement a été plus important dans les lots traités avec les esters phosphoriques (diazinon et parathion) que dans ceux qui avaient reçu de la dieldrine ou le mélange diazinon-DDT. Le dipterex se situe entre ces deux types de produits ; les résultats obtenus avec le mélange dipterex-chlorthion s'expliquent par le fait que le dipterex y était employé à la moitié de la dose à laquelle il était utilisé seul.

On peut faire les mêmes constatations en examinant le degré de destruction du feuillage (tableau III et fig. 1). L'importance des destructions constatées dans les lots témoins est surtout due aux larves qui ont migré des cotylédons vers les feuilles (tableau I) ; au contraire, dans les lots traités, toutes les larves présentes dans les cotylédons avaient été tuées (tableau II) ; celles qui ont été trouvées provenaient de pontes déposées ultérieurement.

Tableau III

Degré de destruction des cotylédons et des feuilles après l'essai n° 1.

Produit	Pourcentage de destruction				
	Après 7 jours	Après 14 jours		Après 20 jours (3)	
	des cotylédons (1)	des cotylédons	de la 1ère paire de feuilles (2)	de la 1re paire de feuilles	de la 2e paire de feuilles
Témoin	37	76	38	73	24
Dieldrine	10	12	0	14	0
Parathion	6	21	4	39	8
Diazinon	4	18	1	29	6
Diazinon + DDT	4	12	1	12	0
Dipterex	6	15	1	24	3
Dipterex + chlorthion	5	16	1	26	2

(1) Après 7 jours : aucun dégât sensible sur la première paire de feuilles.
(2) Après 14 jours : aucun dégât sensible sur la deuxième paire de feuilles.
(3) Cotylédons tombés : troisième et quatrième paires de feuilles intactes.

Il faut cependant noter que les différences constatées entre les produits sont en réalité plus faibles qu'il n'apparaît sur le tableau III et le graphique nº 1 : une destruction de 40 p. 100 de la première paire de feuilles (parathion) équivaut en fait, dans le cas présent, à l'élimination de 10 à 15 p. 100 au plus de la totalité du feuillage ; pour le produit le plus persistant, le taux de destruction global a été de 5 à 7 p. 100 : dans

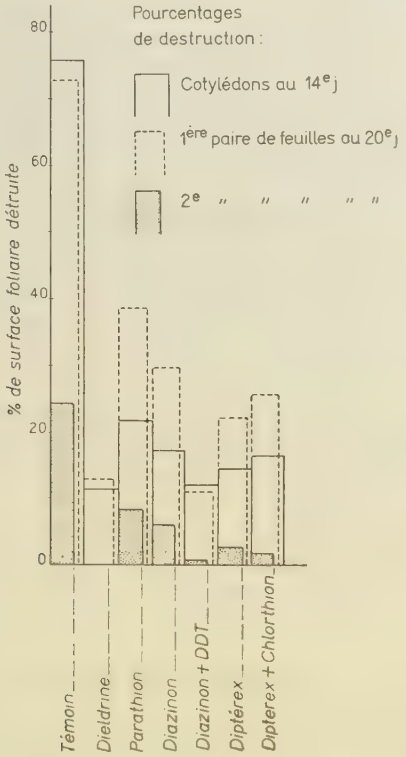


Fig. 1. — Degré de destruction des cotylédons et des feuilles de betterave après le premier essai de lutte contre la Pégomyie (2 mai 1957).

tous les cas il peut être considéré comme négligeable et sans effet sur la culture. Dans le champ où les essais avaient eu lieu, il était impossible de distinguer les lots entre eux (1) à l'exception des lots témoins qui avaient beaucoup souffert dès le stade cotylédonaire. Des pesées ont montré qu'à nombre de plantes égal, les échantillons provenant des lots traités étaient deux fois et demi plus lourds que ceux des témoins. Les plantes

(1) Le champ d'essai n'avait pas encore été démarié afin de permettre les contrôles d'efficacité ; il l'a été aussitôt après le prélèvement dont il est fait état ici.

étaient beaucoup plus vigoureuses et avaient en moyenne un nombre de feuilles plus élevé (tableau IV).

TABLEAU IV

Degré de développement des betteraves dans les lots traités et non traités après 20 jours.

	Pourcentages de betteraves ayant			
	4 feuilles	6 feuilles	8 feuilles	10 feuilles
Lots témoins.....	5	55	38	2
Lots traités.....	14	18	54	14

Conclusion de l'essai n° 1.

Ce premier essai montre qu'un traitement effectué au moment du maximum de la ponte et des éclosions sur des betteraves au stade cotylédonaire assure une excellente protection des cultures. Vu le stade végétatif, la persistance d'action des produits ne doit pas être le critère exclusif de leur choix. Les insecticides fugaces (parathion, diazinon) assurent une protection efficace. Dans ce cas, il faut avant tout rechercher une destruction totale des œufs et des larves pour empêcher leur migration vers les jeunes feuilles, pour conserver l'intégrité des cotylédons dont le rôle est très important.

Ce type de traitement peut se révéler très intéressant au cours d'une année de sècheresse, en favorisant un bon départ de la végétation, ce qui est capital pour la betterave sucrière.

C. — DEUXIÈME SÉRIE D'ESSAIS

Les trois autres essais ont été effectués dans des conditions de végétation très différentes : les essais n° 2 et 3 ont été faits le 16 mai et le 1er juin 1957 sur des betteraves porte-graines en culture directe, de hauteur comprise entre 20 et 50 cm, écartées de 60 cm entre lignes et de 10 cm environ sur le rang. L'essai n° 4 a été réalisé sur une culture de type habituel : les planchons repiqués à 50 cm les uns des autres formaient une touffe de feuilles de 20 à 25 cm de hauteur.

L'essai n° 2 a été effectué avec des doses très élevées de matière active par hectare, dans l'espoir de mettre en évidence pour chaque produit, la valeur du seul critère « persistance d'action ». On avait supposé que l'élimination du produit était fonction du temps plus que de la quantité ; les doses employées étaient égales au double de celles qui sont conseillées

habituellement (notons cependant que la surface foliaire des porte-graines traités est beaucoup plus grande que celle d'une culture de betteraves sucrières, à l'époque considérée).

Les deux derniers essais (n° 3 et 4) ont été réalisés à des doses normales ; leurs dates d'exécution n'ont pas permis de tester la durée d'efficacité mais seulement leur action larvicide.

Les produits et les doses employés sont donnés par le tableau V et les résultats par le tableau VI.

TABLEAU V

Produits employés au cours de la deuxième série d'essais effectués sur betteraves porte-graines.

Produits	Quantité de matière active en g. par Ha.		
	2e essai	3e essai	4e essai et essai ovicide
Parathion	600	300	150
Malathion	1 200	900	600
Chlorthion	750	375	400
Endothion	1 200	600	—
Gusathion	600	300	250
Diazinon	360	180	160
Diazinon	540	180	180
+ DDT	1 200	400	400
Toxaphène	3 600	1 800	1 500
Dieldrine	900	450	400
Lindane	600	300	300
Heptachlor	1 800	900	1 000
Chlordane	1 800	900	750
Dipterex	900	450	300
Dipterex	450	225	150
+ chlorthion	450	225	150

1. Essai n° 2.

Les résultats ont été établis d'après des prélèvements exécutés le 20 mai, le 28 mai et le 3 juin, soit 4, 12 et 18 jours après le traitement. Au moment où celui-ci a été effectué, la population larvaire de Pégomyies sur trois pieds de betterave comprenait 240 larves au premier âge, 35 au deuxième et 10 au troisième ; son évolution ultérieure est donnée par le graphique n° 2.

Après 4 jours, la mortalité des larves au premier âge était à peu près totale pour tous les produits employés. Des larves au deuxième et au troisième âges vivantes ne subsistaient que dans les parcelles traitées avec le malathion, le toxaphène, l'endothion, la gusathion, le lindane, et le dipterex ; elles n'étaient nombreuses que dans les premières (malathion et toxaphène).

Au douzième jour, il ne restait plus qu'un très faible nombre de

Tableau VI

Résultats des essais nº 2, 3 et 4, exprimés par rapport aux parcelles témoins.

Produits	Essai nº 2						Essai nº 3		Essai nº 4	
	Larves vivantes au 4e jour		Larves vivantes au 12e jour			Larves ayant achevé leur dévt au 18e j.	Larves vivantes au 4e jour		Larves vivantes au 3e jour (1)	
	2e âge	3e âge	1er âge	2e âge	3e âge		2e âge	3e âge	2e âge	3e âge
Témoin :										
1º Nombre réel de larves	303	290	262	397	488	1 260	107	340	74 (44)	102 (73)
2º P. 100	100	100	100 (2)	100	100	100	100	100	100	100
Parathion	0	0	160	7	4	36	0	1	12	5
Malathion	25	26	173	50	32	40	35	28	50 (66)	48 (63)
Chlorthion	2	0	133	2	0	23	10	17	8	3
Endothion	13	5	66	8	4	28	8	1		
Gusathion	6	16	54	2	4	31	1	5	9	3
Diazinon	0	0	100	19	1	31	2	1	4	1
Diazinon + DDT	0	0	3	1	2	12	17	4	0	0
Toxaphène	18	85	29	12	0	13	9	2	72 (14)	62 (10)
Dieldrine	5	2	10	0	0	6	0	0	17 (3)	15 (4)
Lindane	16	10	10	1	1	11	17	43	27 (12)	24 (25)
Heptachlor	1	0	4	0	0	7	2	0	6	7
Chlordane	4	4	28	3	1	9	4	6	32 (9)	15 (15)
Dieptérex	7	13	30	3	1	19	0	0	5	8
Dieptérex + Chlorthion	0	0	13	3	1	17	2	1	0	2

(1) Les chiffres entre parenthèses indiquent le pourcentage de larves vivantes trouvées au 9e jour, par rapport au témoin.

(2) Le faible nombre de larves au premier âge vivantes dans les lots témoins est dû au fait que les dégâts causés par la Pégomyie étaient graves et avaient entraîné une très forte mortalité. Le même fait s'était déjà produit au cours de l'essai nº 1.

larves au deuxième et au troisième âges dans l'ensemble des lots traités, par rapport aux témoins, sauf dans les parcelles qui avaient reçu du malathion. Par contre, il apparaissait des différences très importantes dans les quantités de larves au premier âge vivantes, en rapport avec la durée d'action des produits (voir graphique n° 3). Nous trouvons par ordre de persistance croissante :

1° : parathion, malathion, chlorthion, diazinon,

2° : endothion, gusathion,

3° : toxaphène, chlordane, dipterex,

4° : dieldrine, lindane, heptachlor et les mélanges dipterex-chlorthion et diazinon-DDT.

L'adjonction de DDT, insecticide peu actif vis-à-vis des larves âgées

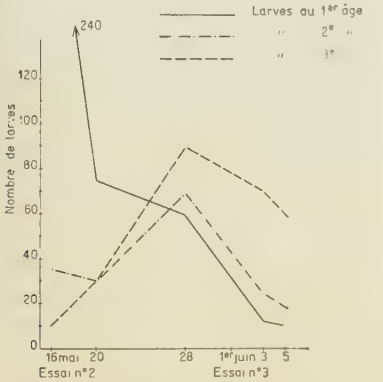


Fig. 2. — Évolution des populations de Pégomyie dans le champ de betteraves porte-graines où ont été effectués les essais n° 2 et 3, dans les parcelles témoin.

de Pégomyie mais très persistant, a amélioré considérablement la valeur du diazinon employé dans les deux cas à la même dose. Il en a été de même pour l'adjonction du dipterex au chlorthion, mais l'efficacité par rapport au dipterex seul n'a pas été beaucoup plus grande (ces deux produits avaient été employés dans le mélange, chacun à la moitié de la dose à laquelle ils doivent être utilisés seuls).

Au douzième jour, malgré les fortes quantités de matière active utilisées, tous les produits étaient inactifs depuis plusieurs jours puisqu'il a été trouvé des jeunes larves vivantes dans toutes les parcelles traitées : des pontes avaient donc été déposées et avaient pu évoluer. Ceci est également prouvé par le fait qu'au dix-huitième jour, il a été trouvé des larves au troisième âge dans tous les lots. Les numérations effectuées alors donnaient un nombre de larves âgées beaucoup plus faible dans les lots témoins que dans ceux qui avaient été traités : ceci était dû à l'importance de la destruction du feuillage survenue entre le 20 et le 25 mai, destruction qui

avait entraîné une mortalité considérable des premiers âges larvaires, par manque de nourriture Pour essayer de chiffrer l'action réelle des traitements au dix-huitième jour, on a additionné pour chaque lot, les nombres de larves au troisième âge trouvés aux quatrième, douzième et dix-huitième jours, en supposant qu'elles avaient pu achever leur évolution : les chiffres obtenus représentaient les populations totales qui s'étaient développées dans chaque lot (sixième colonne du tableau VI, graphique n° 3). Etant

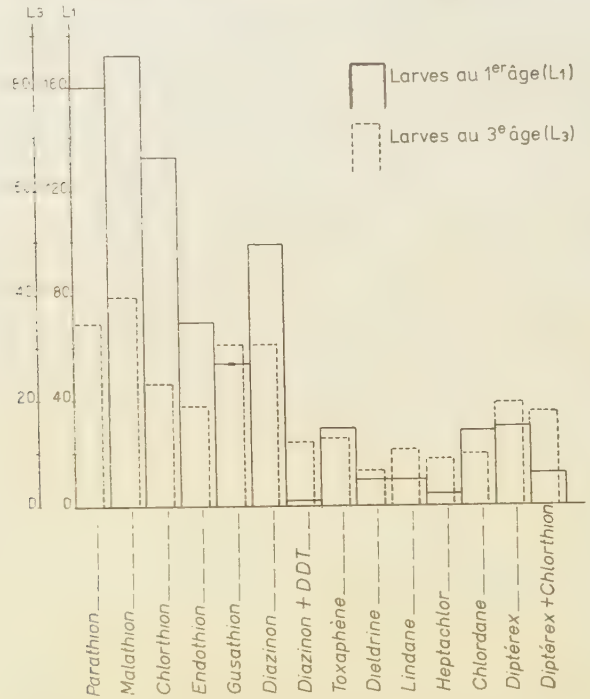


Fig. 3. — Importance relative des populations de larves de Pégomyie après l'essai n° 2.
1) Nombre de larves au premier âge, douze jours après les traitements.
2) Nombre total de larves qui ont achevé leur développement entre le jour du traitement et le dix-huitième jour. (Pourcentages exprimés par rapport aux lots témoins).

donné qu'au douzième jour il n'y avait pratiquement pas de Pégomyies en fin de développement dans les parcelles traitées, les chiffres donnent une assez bonne idée de la valeur du critère « persistance d'action » des produits, en accord avec les conclusions précédentes ; ces résultats montrent également que certains insecticides qui avaient manifesté une action assez faible sur les larves âgées, ont eu une bonne action globale en assurant la destruction de la totalité des jeunes larves (toxaphène, lindane). Le produit qui s'était révélé initialement le plus mauvais (malathion) a cependant eu une action protectrice assez importante.

Des réserves peuvent être formulées en raison des doses élevées d'insecticides utilisées mais, dans l'ensemble, nous pensons que ces conclusions générales peuvent être maintenues : les essais larvicides nos 3 et 4 ont eu, au quatrième jour, des résultats très comparables à ceux qui ont été obtenus au cours de l'essai no 2 (1).

2. Essais nos 3 et 4.

Au moment de la réalisation de l'essai no 3, les populations de Pégomyie comprenaient essentiellement des larves âgées (voir graphique no 2). Un seul prélèvement a pu être réalisé au quatrième jour, en raison de l'achèvement de la première génération.

Le quatrième essai a été effectué sur des populations très faibles en fin d'évolution : sur 15 planchons, on trouvait en moyenne 30 œufs, 10 larves au premier âge, 30 au deuxième et 30 au troisième.

Au quatrième jour après chacun de ces deux essais, seuls les produits suivants avaient laissé subsister des larves âgées vivantes : malathion et toxaphène en assez grand nombre, chlordane et lindane en nombre plus faible, dieldrine enfin. Mais seul le malathion n'avait pas détruit la totalité des larves au premier âge et avait laissé subsister par la suite une assez forte population larvaire (essai no 4).

Par conséquent, sur des larves en fin de développement :

1o : parathion, chlorthion, diazinon, gusathion, endothion, dieldrine, heptachlor, chlordane et dipterex sont d'excellents produits.

2o : toxaphène et lindane peuvent être recommandés à très forte dose.

3o : malathion a une action très insuffisante.

Les mélanges diazinon-DDT, chlorthion-dipterex ont la valeur larvicide excellente de leurs constituants.

3o Essai ovicide de laboratoire.

Les différents produits utilisés précédemment ont fait l'objet d'un essai ovicide de laboratoire. Des betteraves sucrières de 12 à 16 feuilles, repiquées dans des pots en terre cuite ont été placées dans des cages où des Pégomyies avaient été lâchées. Retirées au bout de deux jours, elles ont été traitées par lots de deux avec un petit pulvérisateur pneumatique ; les faces supérieures et inférieures des feuilles étaient soigneusement couvertes avec la bouillie. La quantité de produit insecticide utilisée par plante a été calculée de manière à représenter le 1 60.000e de la dose de matière active employée par hectare au cours de l'essai no 4 (tableau V) ; la température a toujours été comprise entre 18 et 20o.

(1) La publication très récente des essais effectués par KOLBE confirme nos remarques sur la durée d'action et l'efficacité des produits essayés ici contre la Mouche de la Betterave.

Les numérations effectuées de deux jours en deux jours, ont montré (tableau VII) que les esters phosphoriques avaient empêché les éclosions de se produire alors que les composés halogénés avaient plutôt tué les jeunes larves au moment de leur éclosion ou très peu de temps après. Aucune larve ne s'est développée à la suite des traitements, sauf dans le lot traité au toxaphène dont l'action a été beaucoup plus tardive et, malgré tout, très efficace.

TABLEAU VII

Résultats des essais ovicides de laboratoire.

Produits	Nombre total d'œufs traités	Pourcentage d'œufs morts	Pourcentage d'œufs éclos		Remarques
			Larves mortes	Larves vivantes	
Témoin	199			100	99 L_2 au 8e jour.
Parathion	80	100	—		Embryon formé.
Malathion	120	87	13		Galeries de 1 mm.
Chlorthion	146	99	1		
Endothion	179	95	5		Galeries très courtes.
Gusathion	77	100	—		Œufs embryonnés.
Diazinon	88	94	6		Galeries très courtes.
Diazinon + DDT	132	92	8		Galeries très courtes, Œufs embryonnés.
Toxaphène	112	12	85	3	Galeries de 3 à 6 mm avec larves mortes.
Diedrine	82	0	100		Larves mortes à la sortie de l'œuf.
Lindane	96	84	16		Galeries très courtes.
Heptachlor	169	38	62		Galeries de 1 mm.
Chlordane	99	8	92		Galeries de 1 mm.
Dipterex	130	100	—		
Dipterex + chlorthion	122	98	2		Galeries très courtes.

CONCLUSIONS

La seule méthode efficace de lutte contre la Mouche de la Betterave consiste à effectuer des traitements larvicides. Le moment optimum de l'intervention et le choix des produits dépendent de l'importance des populations de Pégomyie et du stade végétatif de la plante.

1° DANS LE CAS D'UNE FORTE PULLULATION constatée au cours de l'été et de l'automne précédents, s'il y a des pontes et des éclosions très importantes, les dégâts, dûs à l'abondance des jeunes larves, se produiront tôt.

Sur des betteraves au stade cotylédonnaire et au stade deux feuilles, le traitement devra être effectué dès que les éclosions se produiront en grand nombre. Il faudra utiliser des produits à action rapide ; la persistance d'action ne présente pas un intérêt majeur, étant donné le stade végétatif.

Sur les betteraves plus développées, les produits les plus persistants

seront intéressants mais les produits fugaces ne seront pas à rejeter pour cette seule raison. Dans ces deux cas, on pourra utiliser des insecticides moins efficaces contre les larves âgées puisqu'on aura affaire à de très jeunes âges larvaires.

Sur des betteraves porte-graines, il sera possible de retarder un peu l'intervention et, comme pour le cas précédent, dans la mesure du possible, on choisira des produits moins fugaces.

2° Si l'importance de la pullulation est plus faible, sur des betteraves bien développées, on pourra attendre l'apparition des premières grosses larves. Il faudra alors utiliser un produit larvicide puissant, actif sur les derniers âges. La persistance d'action aura moins d'intérêt puisque l'intervention sera effectuée à un moment où la ponte est en cours d'achèvement.

Pour des betteraves au stade cotylédonaire, on peut être ramené au premier cas (traitement au moment du maximum des éclosions).

Les produits essayés peuvent être classés ainsi :

très bons larvicides (par ordre de persistance croissante) :

parathion, diazinon, chlorthion, endothion, gusathion, dipterex et dipterex-chlorthion, chlordane, diedrine, heptachlor et diazinon-DDT.

action faible sur les larves âgées, excellente sur les jeunes larves :

toxaphène et lindane.

action larvicide insuffisante :

malathion.

La réussite de la lutte contre la Mouche de la Betterave dépend essentiellement du choix judicieux de la date d'intervention, beaucoup plus que de celui d'un produit, pourvu que son efficacité larvicide soit suffisante.

Reçu pour publication le 7 octobre 1958.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Balachowsky (A.) et Mesnil (L.). — Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Paris, 1935.

Bonnemaison (L.). — Les animaux nuisibles à la Betterave. *Cah. n° 8 de l'Inst. Tech. Fr. de la Bett. Ind.*, 1951.

Blunck (H.), Bremer (H.) und Kaufmann (O.). — Untersuchungen zur Lebensgeschichte und Bekämpfung der Rübenfliege (*Pegomyia hyoscyami Panz.*). *Arb. Biol. Reich. Land. und Forst.*, **20**, 518-584, 1933.

Blunck (H.) und Rademacher (B.). — Die Rübenfliege und ihre Bekämpfung. *Flugbl. F 5 der Biol. Zentralanstalt Braunschweig*, 1949.

Bollow (H.). — Die Rübenfliege (*Pegomyia hyoscyami* SSP. *betae* Curtis). *Bayer. Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Merkblatt n° 13*, 1956.

Bremer (H.) und Kaufmann (O.). — Die Bekämpfung der Rübenfliege (*Pegomyia hyoscyami* Panz.) mit Fluornatrium und Kieselfluornatrium. *Anz. f. Schädlingskunde* **3**, 13-15, 1927.

BREMER (H.) und KAUFMANN (O.). — Die Rübenfliege (*Pegomyia hyoscyami* Panz.). *Monographien zum Pflanzenschutz* n° 7, 110 p., Berlin 1931.

BRUEL (E. VAN DEN). — Réflexions sur la lutte contre la Mouche de la Betterave. (*Pegomyia hyoscyami* Panz.). *Parasitica* **3**, 126-128, 1947.

DOSSE (G.) und RADEMACHER (B.). — Ein neues Bekämpfungsverfahren gegen die Larven der ersten Rübenfliegengénération (*Pegomyia hyoscyami* Panz.). *Zeitschr. Planzenkrankh.* **55**, 346-350, 1949.

DUNNING (R. A.). — Mangold Fly attacks in 1955. Use of Metasystox in their control. *Brit. Sug. Beet. Rev.*, **24**, 211-124, 1956.

ERNOULD (L.). — La lutte contre la Pégomyie ; résultats des essais effectués à Tirlemont en 1947. *Publ. Inst. Belg. Amel. Bett.*, **16**, 47-55, 1948.

JONES (F. G.) and DUNNING (R. A.). — The control of Mangold Fly (*Pegomyia betae* Curtis) with DDT and other chlorinated hydrocarbons. *Ann. Appl. Biol.*, **41**, 132-154, 1954.

KEMNER (N. A.). — Betflugan (*Pegomyia hyoscyami* Panz.) och det stora betflugangreppet 1924. *Meddel. Nr. 288 fr. Centralanst. f. Forsoksv. Pa Jordbruksomr. Entom. Avd.*, **47**, 1,-56 1925.

KOLBE (W.). — Untersuchungen über die Bekämpfung der Rübenfliege. *Hofchen Briefe*, **11**, 37-71, 1958.

LINT (M. M. DE) and MEYERS (C. P.). — Experiments on the control of the Mangold Fly (*Pegomyia betae* Curtis). *Plantenziektenk. Dienst Wageningen versl. en meded.* **129**, 134-140, 1955.

MISSONNIER (J.). — Remarques biologiques et essais de traitements chimiques contre la Mouche de la Betterave (*Pegomyia betae* Curtis). *C. R. Ac. Ag.*, **41**, *669 673, 1955.*

MISSONNIER (J.). — Particularités écologiques de la Mouche de la Betterave (*Pegomyia betae* Curtis) dans le Bassin Parisien. *C. R. Ac. Ag.*, **43**, 133-137, 1957.

NOLTE (H. W.) und KLINKOWSKI (M.). — Die bekämpfung der Rübenflige mit Ester-Praparaten. *Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd. (Berlin), N. F.*, **4**, 227-230, 1950.

PORTIER (M.). — Essais de lutte contre la Pégomyie de la Betterave en 1956, dans le département du Calvados. *Publications de l'Inst. Techn. Fr. de la Bett. Ind., C. R. des travaux effectués en* 1956, 135-172, 1957.

ROEBUCK (A.), BAKER (F. T.) and WHITE (J. A.). — Observations on the biology and experiments on the control of the Mangold Fly (*Pegomyia betae* Curtis). *Ann. App. Biol.*, **32**, 164-170, 1945.

STENVERS (N.). — Trials on the control of the Mangold Fly (*Pegomyia hyoscyami* Panz. W (Ne. An). *Plantenziektenk dienst Wageningen*, Versl., **130**, 147-152, 1956.

WILCOX (J.) and HOWLAND (A. F.). — Control of the Pea Leaf Miner in Southern California. *J. Ec. Ent.*, **48**, 579-581, 1955.

X... — La lutte contre la Pégomyie en 1957. *Publications de l'Inst. Techn. Fr. de la Bett. Ind., C. R. des travaux effectués en* 1957, 89-112, 1958.

UN CAS D'ENCHAINEMENT : BLESSURE AVEC INFECTION CRYPTOGAMIQUE A *Trichothecium roseum* LINK. CHEZ LE LEPIDOPTÈRE *Bombyx mori* L.

PAR

M. S. JOLLY

Laboratoire de Cytopathologie, Station de Recherches séricicoles, Alès.

I. — INTRODUCTION

Le rôle pathogène de certains microorganismes à faible virulence a été mis en évidence récemment en pathologie des Insectes par les travaux de VAGO (6). En particulier cet auteur a montré le rôle de l'« enchaînement » dans les apparitions de diverses maladies, c'est-à-dire l'importance de la porte ouverte par une lésion ou une première maladie, pour la possibilité de développement de certaines maladies infectieuses. Celles-ci sont parfois même dues à des germes considérés habituellement comme saprophytes.

Des rapports de cette nature vus d'abord sur certains Lépidoptères par VAGO, furent remarqués ensuite par cet auteur et par HURPIN notamment, chez les Insectes nuisibles aux cultures, en particulier chez ceux à vie souterraine, pour lesquels les blessures et les infections de blessures paraissent fréquentes (4).

Nous avons eu l'occasion de noter et d'étudier un cas de parasitisme de blessure au cours d'élevage de Vers à soie. En effet, après blessure accidentelle d'un Ver, un affaiblissement progressif a été remarqué ainsi qu'un développement mycélien sur la blessure. A partir de cette observation, des essais d'isolement du Cryptogame, de reproduction expérimentale du processus et enfin l'étude de ce dernier par histopathologie ont été réalisés.

II. — LE CAS SPONTANÉ

En septembre 1957, dans un élevage de Vers à soie de race Bagdad, effectué à Saint-Christol-les-Alès (Gard), nous avons trouvé un Ver de 5e âge, blessé sur la troisième fausse patte de droite. Le saignement donne lieu à une mélanisation du caillot d'hémolymphe solidifié. Un jour plus

tard, nous remarquons d'une part, un point blanc sur cette blessure annonçant vraisemblablement le développement d'un cryptogame et d'autre part, une légère diminution de l'appétit du Ver. Deux jours après, le Ver commence à noircir à côté de la région blessée et une paralysie débute et s'étend au point que le 3e jour le Ver ne peut remuer que la partie thoracique et la tête. Il s'arrête alors de manger (fig. 1).

C'est à ce stade que l'Insecte, encore vivant, a été utilisé pour étude pathologique. Nous avons commencé par les essais d'isolement du cryptogame installé sur la blessure.

III. — ÉTUDE MYCOLOGIQUE

Le champignon a été isolé en prélevant du mycélium et en le mettant en culture sur gélose Sabouraud glucosée.

Il se présente sous forme de colonies cotonneuses prenant plus tard une teinte rosée.

L'étude mycologique a été poursuivie par micro-culture sur lamelle au-dessus de lame creuse en gélose Sabouraud.

Les spores, composées de deux cellules distinctes sont ovoïdes et ont 10 μ de longueur (fig. 2). Elles sont attachées directement à la partie supérieure des conidiophores (1, 2, 5, 8).

D'après l'ensemble des caractéristiques, le cryptogame isolé correspond à l'espèce *Trichothecium roseum* Link. Cette détermination a été confirmée par Mme Nicot, du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. (1, 2, 3, 5, 8).

IV. — TESTS DE VIRULENCE PAR INJECTION

Afin de voir si ce champignon, connu comme saprophyte a une affinité vis-à-vis des tissus d'Insectes, nous avons injecté à 10 chenilles de *Bombyx mori* et 10 chrysalides la suspension obtenue par dilution de sa culture dans l'eau stérile.

Les injections ont été faites à l'aide de pipettes Pasteur doublement effilées, après désinfection de la chitine avec de la teinture d'iode. Elles étaient sous-cutanées, orientées au-dessus d'un stigmate et parallèlement à la surface du corps.

Un noircissement à côté de la région de l'injection a été noté d'abord chez les chenilles et plus tardivement chez les chrysalides. On observa de la mortalité chez les Vers, le 4e jour après l'infection et cela pendant cinq jours (pour les chrysalides, du cinquième au dixième jour).

Afin de confirmer la responsabilité du champignon dans l'infection, un réisolement a été effectué à partir des tissus et de l'hémolymphe. Les cultures obtenues furent soumises à l'étude mycologique qui a montré l'exclusivité d'action de *T. roseum*.

Ces expériences montrent que le champignon isolé de l'infection localisée après blessure a une affinité vis-à-vis de *Bombyx mori* et qu'il n'est non seulement pas détruit ou neutralisé dans l'hémolymphe de cet Insecte mais qu'il présente une forte virulence lorsqu'il y est injecté.

V. — ÉTUDE DE LA VIRULENCE PAR VOIE BUCCALE

Afin de définir la nature pathogène et le degré de la virulence du champignon isolé, il était important de connaître son action par ingestion. En effet, la démonstration de la virulence par injection n'a donné une explication que pour le développement et l'attaque du champignon dans le milieu interne de la larve. La mise en évidence d'une virulence par voie buccale permettait de savoir s'il s'agit d'un entomophage obligatoire doué d'un pouvoir de pénétration à travers un épithélium sain.

Dans ce but, environ 200 larves néonathes provenant d'une ponte entière de *Bombyx mori* ont été partagées en deux groupes dont l'un a été alimenté au cours de 3 repas avec des feuilles de murier souillées de suspension de culture sporulée de *Trichothecium roseum*. La suspension était très concentrée : un tube de culture de gélose âgée de 10 jours étant lavé dans 50 cc d'eau.

Les Vers ont été observés pendant deux âges et aucune mortalité due à une mycose n'a été enregistrée dans les deux lots.

Il est donc prouvé qu'il ne s'agit pas d'un entomophyte adapté à l'espèce et que ce cryptogame est incapable d'attaquer l'épithélium intestinal sain.

VI. — ÉTUDE DE LA VIRULENCE PAR CONTACT

Les résultats négatifs de l'infection par voie buccale nous ont incité à vérifier si le champignon était également incapable de pénétrer à travers d'autres épithélium intacts notamment à travers le tégument chitineux qui couvre le corps. Les expériences ont consisté en badigeonnage ou mise au contact avec la suspension décrite plus haut de larves et de chrysalides et les résultats sont restés négatifs pendant plus de 20 jours d'observation.

Cette série d'expériences confirme les résultats des précédentes, c'est-à-dire l'incapacité du champignon d'attaquer le Bombyx à travers un épiderme sain.

VII. — REPRODUCTION DE L'INFECTION CONSÉCUTIVE A UNE BLESSURE

L'impossibilité pour le champignon de pénétrer à travers un tégument sain et la facilité avec laquelle il est capable au contraire de déclencher une pathogénèse lorsqu'il se trouve en contact avec les tissus nous

ont amenés à réaliser expérimentalement la phase intermédiaire, c'est-à-dire de précéder l'infection par un traumatisme préparatoire sur le tégument.

Pour cela nous avons blessé des Vers au 5e âge et des chrysalides en incisant le tégument sur le côté dorsal au-dessus des stigmates. Lorsque l'hémolymphe couvrant la plaie a commencé à se mélaniser, un fragment de culture sporulée de *Trichothecium* a été mis en contact avec la surface blessée. La mélanisation et le dessèchement de la plaie ont suivi le processus normal de guérison et les Insectes n'ont pas souffert visiblement de cette intervention. Les cas d'hémorragie ont été éliminés avant infection.

Au bout de 5 jours, après l'infection, le durcissement du corps a été observé sur quelques larves et sur quelques chrysalides. L'apparition de taches blanches de mycelium sur les blessures infectées a été notée dans les lots mis en contact avec le champignon, mais jamais remarquée dans les lots témoins n'ayant subi que la blessure seule.

Pendant les 10 jours suivants, la mortalité s'étend chez les larves et les chrysalides en montrant dans chaque cas le durcissement caractéristique des mycoses. Dans les lots témoins aucune mycose n'a été observée.

Afin de vérifier les rapports entre cette mortalité et le cryptogame porté sur la blessure, nous avons mis en culture un fragment de tissu de chaque Insecte mort et obtenu dans tous les cas les caractéristiques de culture et de morphologie de *Trichothecium roseum*. Afin d'illustrer le déroulement de l'effet du champignon, nous donnons les relevés concernant la mortalité observée dans un des lots de 20 chrysalides.

TABLEAU I

Effet de l'infection de blessures avec Trichothecium roseum *sur chrysalides de* Bombyx mori.

Jours après la blessure	Morts sur 20 Insectes		Totaux cumulés
	Au stade chrysalide	Au stade papillon	
4e	0		0
6e	4		4
8e	1		5
9e	2		7
10e	2		9
14e	0	1	10
15e	0	2	12
16e	4	2	18

Ces observations montrent que la souche de *Trichothecium* isolée est incapable d'attaquer le *Bombyx mori* à travers un tégument sain mais

elle provoque une mycose mortelle lorsqu'elle est associée à une blessure. Nous pouvons d'autre part, reproduire expérimentalement le cas spontané origine de notre étude et cela avec toutes ses caractéristiques morphologiques.

VIII. — HISTOPATHOLOGIE

Afin de suivre le déroulement du processus de l'infection et de la pathogénèse, nous avons examiné sur coupes histologiques, des chenilles et des chrysalides infectées avec le champignon après mélanisation de l'hémolymphe sur blessure expérimentale et fixées au liquide de Bouin cinq jours plus tard.

Les altérations ont été mises en évidence soit par coloration à l'hémalun combiné avec éosine-orange, soit par la technique de l'hématoxyline ferrique.

Sur certaines larves et chrysalides, nous n'avons pu déceler que des lésions au niveau de l'épiderme, dues à la blessure et consistant en rupture de la chitine et dislocation du cytoplasme de quelques cellules cylindriques. Des filaments mycéliens ont été décelés près de la surface extérieure de la chitine blessée et même parmi les blessures de l'épiderme. Mais aucune action cryptogamique dans la cavité générale ou sur les tissus. Cependant, nous notons la présence en grand nombre et l'accumulation d'hémocytes autour de l'endroit lésé, comme cela a été signalé antérieurement (6).

Dans ce cas, les lésions étaient dues au traumatisme et l'effet pathogène du champignon n'était pas encore caractéristique.

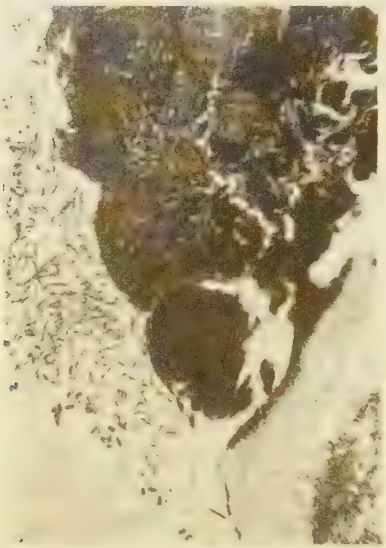
Sur d'autres exemplaires, nous avons observé un stade plus avancé de la double pathogénèse. En effet, outre les lésions décrites et l'accumulation des hémocytes, un réseau mycélien apparaît sur les coupes au-dessous des lésions de l'épiderme à proximité de la discontinuité de la chitine (fig. 3). Ce mycélium localisé forme une tache incluant même une partie du tissu adipeux et remplit une région de la cavité générale (fig. 4). Un mécylium semblable apparaît également à la surface extérieure de la chitine avec présence de conidies.

Dans d'autres cas, le mycélium a rempli non seulement les régions avoisinantes de la blessure, mais également l'ensemble de la cavité générale et tous les organes y compris l'intestin et les glandes séricigènes. A ce stade on observe la traversée de la couche chitineuse par les filaments mycéliens de l'intestin vers l'extérieur, et apparition de l'enduit externe caractéristique de la mycose généralisée.

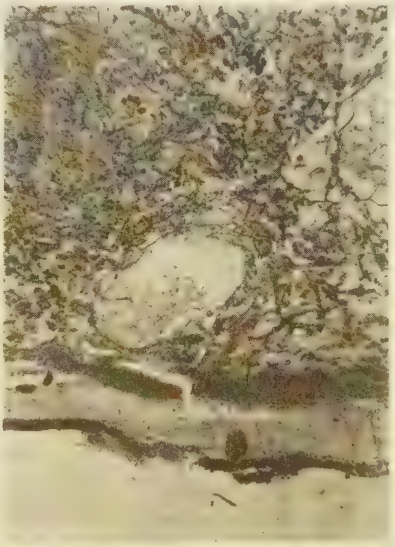
L'ensemble de ces observations montre le développement du champignon au niveau de la blessure, la formation de colonies localisées autour de celle-ci malgré l'action phagocytaire et enfin la généralisation de la mycose sur l'organisme entier.

1

2



3



4

FIG. 1. — Larve de *Bombyx mori* L. avec blessure et infection secondaire à *Trichothecium roseum* LINK.

FIG. 2. — Mycelium et conidies de *T. roseum* en culture. Coloration Pappenheim.

FIG. 3. — Coupe histologique de l'épiderme de larves au début de la mycose. Mycelium localisé (avec conidies) à la surface de la blessure. Nécrose et pénétration mycélienne dans la chitine au-dessous de la colonie localisée. Fixation Bouin. Coloration Hématoxyline ferrique.

FIG. 4. — Début de généralisation de la mycose. Progression du mycélium dans la cavité générale et dans le tissu adipeux. Fixation Bouin. Coloration Hématoxyline ferrique.

IX. — CONCLUSIONS

Partant d'un cas spontané de développement cryptogamique au niveau d'un traumatisme hémorragique fortuit nous avons montré expérimentalement en employant la culture pure du champignon isolé, que le cryptogame *Trichothecium roseum* Link. considéré comme saprophyte et n'ayant pas été signalé comme susceptible d'attaquer un Insecte, peut se développer sur une blessure en voie de guérison chez le Ver à soie pour provoquer une mycose localisée puis généralisée. Cette constatation est une confirmation et une démonstration, en pathologie séricicole, de l'existence et de l'importance de l'« enchaînement » des maladies.

Reçu pour publication le 1er *septembre* 1958.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) Arnaud (G.) et Arnaud (M.). — Traité de Pathologie végétale. Lechevalier, Paris, p. 1066, 1931.
(2) Butler (E. J.) et Jones (S. G.). — Plant Pathology. MacMillan, London, p. 730, 1955.
(3) Geoffrion (R.). — Une pourriture interne des pommes due à la moisissure rose. *Phytoma*, **93**, p. 39, 1957.
(4) Hurpin (B.) et Vago (C.). — Les maladies du Hanneton commun (*Melolontha melolontha* L.). *Entomophaga* 3, p. 285, 1958.
(5) Smith (G.). — An introduction to industrial mycology. Edward Arnold and Co., London, p. 80, 1957.
(6) Vago (C.). — L'enchaînement des maladies chez les Insectes. Ed. Spéciale, Comm. Sér. Intern., p. 63, 1956.
(7) Vago (C.). — Virulence cryptogamique simultanée vis-à-vis d'un végétal et d'un Insecte. *C. R. Acad. Sci.*, 247, p. 1651, 1958.
(8) Viennot Bourgin (G.). - Les champignons parasites des plantes cultivées. Masson, Paris, p. 1444, 1949.

LA MALADIE DU PIÉTIN-VERSE DES CÉRÉALES : *CERCOSPORELLA HERPOTRICHOIDES* FRON. IMPORTANCE AGRONOMIQUE, BIOLOGIE, ÉPIPHYTOLOGIE.

PAR

J. PONCHET [1]

Station centrale de Pathologie végétale, Versailles.

PLAN DU MÉMOIRE

I. — Introduction.

II. — Répartition géographique.

III. — Historique.

IV. — Matériel et méthodes.
Culture du parasite, inoculation.
Notation des symptômes.

V. — Importance agronomique du piétin-verse.
Effet du piétin sur les facteurs du rendement du blé.
Effet du piétin sur le rendement d'une culture.
Seuil de nuisibilité.

VI. — L'inoculum et ses sources.
Débris de récoltes.
Graminées spontanées.

VII. — Dissémination du C. herpotrichoides.
Importance de la dissémination.
Modalités de la dissémination.
Contrôle des disséminations.

VIII. — Développement de la maladie.
Rôle de la température.
Évolution des lésions.
Détermination des symptômes.
Considérations sur les épidémies artificielles.

IX. — Eléments de prévisions des épidémies.

X. — Résumé et conclusions.

XI. — Bibliographie.

[1] Avec la collaboration technique de R. LORNE de 1953 à 1956 et B. TEILHARD DE CHARDIN de 1956 à 1958.

INTRODUCTION (1)

C'est dans la seconde moitié du XIXe siècle que l'expression « piétin des céréales » a fait son apparition dans les publications agricoles françaises. Elle était alors fort peu précise, désignant un ensemble de symptômes localisés aux racines ou au pied des céréales, plutôt qu'une maladie déterminée ou que les manifestations d'un parasite bien identifié.

De cette imprécision sont nés les termes composés de piétin-verse et de piétin-échaudage, se rapportant, encore empiriquement, à un symptôme mais ne définissant pas nettement une maladie bien caractérisée.

Il ne sera question dans le présent mémoire que du piétin-verse provoqué par le *Cercosporella herpotrichoides* Fron, dont l'importance en France, est certaines années, considérable, comme en témoignent de nombreux rapports. Cette maladie pose à l'agriculture des problèmes complexes, explorés depuis de nombreuses années, sans avoir reçu de solutions satisfaisantes.

II. — RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

Une revue rapide de la littérature, concernant le *Cercosporella herpotrichoïdes* Fron, pourrait laisser supposer que le piétin-verse est une maladie d'origine récente. Le parasite, en effet, est signalé pour la première fois en Allemagne (26-31) et en Hollande (27) au cours de l'année 1933, il est ensuite observé en Grande-Bretagne (14) et en Belgique (24) deux ans plus tard. Aux États-Unis, où première mention en est faite en 1920 (23) et plus particulièrement en 1931 dans les Etats d'Oregon et de Washington (33) le *C. herpotrichoïdes* n'a fait son apparition qu'en 1954 dans l'Est (32).

Dans l'hémisphère sud, également, sa description est récente, que ce soit en Australie (1) ou en Afrique du sud (18).

En France, le piétin-verse sévit plus particulièrement dans la moitié nord du pays, mais il n'est pas rare de le rencontrer dans la région du sud-ouest. Il est endémique, mais ne provoque de dégâts sérieux qu'épisodiquement au cours de périodes favorables permettant une large distribution du parasite.

Les travaux importants se rapportant au *C. herpotrichoides*, peu après 1930, sont le point de départ d'une période où tout ce qui concerne les agents responsables des piétins est devenu clair. La maladie existait,

(1) Les travaux dont il est rendu compte dans le présent mémoire, ont été entrepris en 1951 suivant les directives du Pr Limasset alors Directeur de la Station Centrale de Pathologie Végétale de Versailles.

sans aucun doute, dans la plupart des pays précités bien avant qu'il n'en soit fait état dans les revues scientifiques ; l'année 1930 marque la fin d'une longue période d'imprécisions dans les termes et dans la systématique des champignons associés aux piétins.

III. — HISTORIQUE

En France, le piétin-verse a commencé à retenir l'attention des milieux agricoles vers 1840, la première publication décrivant les symptômes et la physionomie générale de la maladie est dûe à PLUCHET (28) en 1878. L'origine parasitaire de la verse des céréales a été établie à la fin du siècle dernier, mais les avis des auteurs sont très partagés en ce qui concerne le champignon responsable.

PRILLIEUX et DELACROIX (29) incriminent l'*Ophiobolus graminis* SACC. tandis que MANGIN (25) et FRANK (12) considèrent le *Leptosphaeria herpotrichoides* de NOT., comme seul vrai responsable de la brisure des chaumes.

MANGIN, dans un travail remarquable, a décrit avec beaucoup de précisions la maladie, en lui donnant son nom commun, pleinement explicité. Il écrit notamment : « Les chaumes s'abattent en grand nombre, sans pluie ni vent et dans les directions les plus diverses, s'enchevêtrant les uns dans les autres de manière à présenter l'aspect d'une récolte piétinée dans tous les sens par des animaux ». Le terme de piétin-verse prend son sens, les plaques mycéliennes décrites et dessinées par l'auteur ressemblent parfaitement à celles que l'on considère, aujourd'hui, comme caractéristiques du *C. herpotrichoides*. MANGIN a décrit d'autres organismes associés au piétin-verse, il n'a pas eu le bonheur de découvrir les fructifications caractéristiques du principal responsable.

C'est à FRON (13) que l'on doit la description de l'espèce nouvelle *C. herpotrichoides* en 1912, mais contrairement à ce qu'on pourrait supposer, cette découverte n'éclaircit en rien le problème. Admettant les conclusions de MANGIN, FRON pense, sans pouvoir le démontrer, que cette forme conidienne intervient dans le cycle du développement du *Leptosphaeria herpotrichoides* de NOT., champignon fort commun à l'époque sur les chaumes atteints de piétin. Sur ces chaumes, le *C. herpotrichoides* est présent, mais personne n'a encore réussi à le caractériser en culture pure et son rôle, de ce fait, n'est pas clairement établi.

Dans ses premiers travaux, FOEX (4) attribue au *L. herpotrichoides* tout ce qui revient de nos jours au *C. herpotrichoides*, l'un et l'autre étant stériles en culture pure. Progressivement, cependant, il abandonne l'hypothèse de MANGIN et désigne sous le nom de « champignon X » une forme mycélienne stérile, mais reproduisant, par inoculations artificielles, la

maladie des taches ocellées (8). Foex laisse entendre que tout deviendrait clair : « s'il devait être prouvé qu'une forme conidienne telle que celle du *Cercosporella herpotrichoides* entre dans le cycle du « champignon X ».

La preuve semble devoir être donnée par Foex lui-même qui écrit quelques lignes plus loin : « De jeunes plantules recouvertes de plaques brunes typiques du « champignon X » ayant été placées en fiole d'Erlenmeyer renfermant de l'eau, se recouvrirent rapidement de conidies de *Cercosporella herpotrichoides* ».

En 1930, le piétin-verse est donc attribué à un champignon stérile, déjà mentionné par Heald (23). Le *L. herpotrichoides* n'est plus considéré que comme saprophyte et le *C. herpotrichoides*, qui n'en est pas la forme conidienne pourrait bien être le « champignon X » stérile en culture pure.

C'est Sprague (33) qui lève les dernières indéterminations, met fin à la période de confusion, longue d'un demi-siècle et ouvre la voie aux travaux importants qui sont publiés entre 1931 et 1936 dans la plupart des pays intéressés par le piétin-verse. Sprague réussit à obtenir des conidies du *C. herpotrichoides* en culture pure, à la fois sur ses isolements et sur des souches du « champignon X » qu'il a reçu de Foex. Le responsable du piétin-verse est donc bien cette forme conidienne décrite par Fron et nombre de chercheurs ont dû l'isoler de tissus malades, sans pouvoir la caractériser. Seule, la stérilité en culture, de ce parasite, l'a fait ignorer pendant aussi longtemps et a permis qu'une grande confusion règne dans la systématique des champignons associés au piétin-verse.

Il n'en est pas moins curieux de remarquer que le *L. herpotrichoides*, autrefois fort répandu, s'est effacé au point que certains auteurs (27) ne l'ont jamais rencontré sur des chaumes malades, tandis que le *C. herpotrichoïdes*, décrit tardivement, est devenu particulièrement commun. On s'explique mal, en outre, que Mangin ait pu décrire de nombreux champignons associés au piétin-verse sans rencontrer au moins une fois les conidies si caractéristiques du *C. herpotrichoides* ; en admettant qu'elles aient été, à l'époque, aussi abondantes que de nos jours.

Les recherches concernant la biologie du piétin-verse ont été entreprises bien avant la période 1931-1936 et leur valeur n'est pas liée aux erreurs de position systématique des parasites. Foex et son collaborateur Rosella (8), ont été les premiers à étudier les tissus parasités, à travailler sur des plantes inoculées artificiellement et à suivre l'évolution de la maladie. Guyot et Gaudineau (10-20-21) ont montré le rôle des facteurs du milieu dans l'évolution du piétin-verse et mis en évidence d'importants éléments d'une méthode de lutte rationnelle.

On peut faire le point des connaissances accumulées sur le piétin-verse en consultant un nombre réduit de travaux. Les auteurs qui ont consacré à cette maladie des recherches importantes ne sont pas très

nombreux ; il faut notamment citer : GLYNNE en Grande-Bretagne, OORT en Hollande, SCHAFFNIT, MORITZ et BOCKMAN en Allemagne, SPRAGUE et FELLOWS aux Etats-Unis, FOEX, ROSELLA, FRON et GUYOT en France.

Ces différents auteurs ont, chacun dans des conditions de milieu différentes, fait progresser considérablement les recherches sur la biologie du Piétin-verse. Ils ont mis au point des méthodes d'inoculation artificielle, de notation des plantes malades, relié l'importance de la maladie aux conditions climatiques et montré le rôle des pratiques culturales dans son déterminisme.

Tous les résultats publiés ne sont pas directement applicables en France, il était nécessaire de reprendre nombre de données dans les conditions de l'agriculture française. En outre, plusieurs points concernant en particulier les techniques d'étude, l'importance agronomique de la maladie méritaient d'être repris et approfondis. L'épidémiologie du piétin-verse et le déterminisme des attaques graves n'avaient pas, jusqu'à ce jour, été étudiés systématiquement.

L'objet des recherches entreprises à la Station Centrale de Pathologie Végétale de Versailles, à la suite des travaux de FOEX, portait précisément sur les différents points encore obscurs. Les résultats obtenus complètent et prolongent les travaux antérieurs.

IV. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le *Cercosporella herpotrichoides* se cultive sans difficultés sur les milieux artificiels gélosés classiques (pomme de terre, carotte, farines de céréales), sans perdre son pouvoir pathogène. L'ensemble des expériences, depuis 1951, a été effectué avec une même souche du *C. herpotrichoides* issue d'une seule conidie. Quelle que soit sa forme, l'inoculum est resté homogène.

1° ISOLEMENT ET CULTURE DU C. HERPOTRICHOIDES

Il est difficile d'obtenir une culture pure du champignon à partir de chaumes âgés, surtout lorsque des saprophytes en ont déjà entrepris la colonisation. Dans ce cas, seule la technique des dilutions successives donne de bons résultats, à condition que la sporulation soit abondante. Au bout de 5 à 6 jours, on obtient, à partir de chaque spore viable, une colonie de la grosseur d'une tête d'épingle qu'il est aisé de repiquer.

A partir de tiges encore vertes et de jeunes lésions, l'isolement est facile : après désinfection superficielle, on pratique au rasoir des coupes fines que l'on ensemence sur milieu gélosé. La méthode donne fréquem-

ment des cultures pures dont les colonies, en touffes denses, de couleur gris fauve, sont bien caractéristiques et se repiquent aisément.

Toutes les souches du *C. herpotrichoides*, isolées depuis 1951, ont été conservées sur gélose pomme de terre glucosée.

Le champignon se cultive bien sur des bandes de papier que l'on peut disposer verticalement en tubes, ou horizontalement, en boîtes de Pétri ; cette technique est intéressante pour des études sur la nutrition, pour la production en milieu aseptique de stromas et de conidies.

2° INOCULATIONS ARTIFICIELLES.

Selon les besoins, l'inoculum peut être constitué soit par la phase mycélienne ou par des conidies.

Il faut deux à trois semaines pour obtenir, à une température de 20°, une culture bien développée sur milieu liquide, dans une boîte de Roux par exemple. La culture, broyée dans un « mixer », additionnée d'une quantité d'eau variable suivant les besoins, constitue un inoculum très actif et facile à pulvériser sur les plantes. Le broyat concentré doit être dilué au moins 20 fois, surtout pour les inoculations en champ, si l'on désire éviter une mortalité trop importante des talles au cours de l'hiver. L'infection obtenue est homogène et donne entière satisfaction, en particulier pour les essais de comportement variétal.

On peut effectuer aisément une inoculation locale par points, en broyant un mélange de mycélium et de papier filtre ; la pâte obtenue est déposée à l'aide d'une aiguille fine, sur les tiges où elle adhère parfaitement, sans risques de déplacements. Ce dernier type d'inoculum, une fois desséché, peut être conservé un ou deux mois, sans perdre de son pouvoir pathogène.

Il assure une contamination unique, à une date que l'on peut choisir, contrairement à ce qui se passe dans les conditions naturelles.

L'obtention de conidies, pour l'inoculation artificielle, ne donne qu'un minimum de travail, si l'on ne désire pas opérer en conditions d'asepsie. Il suffit d'abandonner dès l'automne, dans les conditions du milieu extérieur, des chaumes infestés résultant des notations de la précédente récolte ; les plus malades étant seuls retenus.

Une sporulation abondante et continue est assurée pendant toute la période hivernale, à condition de veiller à ce que les chaumes ne restent pas secs pendant trop longtemps. En secouant les chaumes dans l'eau, on obtient une suspension concentrée de conidies, qu'il est nécessaire de diluer en fonction des besoins. D'après les résultats observés, une suspension contenant 50.000 spores par centimètre cube constitue un bon inoculum.

En champ, les deux types d'inoculum doivent être utilisés par temps humide. A la dose de 200 cc par mètre carré environ, ils assurent une contamination importante mais non exceptionnelle.

Pour les essais en serre, il est intéressant de concentrer l'inoculum pour s'assurer une infection de toutes les plantes, il importe de maintenir l'humidité au-dessus de 80 p. 100 et la température entre 10 et 15°.

L'inoculation par une suspension de conidies provoque une infection moins violente que celle obtenue par un broyat de mycélium, les deux méthodes ont été comparées en 1955 en plein champ. Le broyat a été obtenu d'une culture âgée de un mois et dilué 20 fois, la suspension de conidies contenait 50.000 spores par centimètre cube. Chaque type d'inoculum a été répandu, à deux époques éloignées l'une de l'autre, à la dose de 200 cc par mètre carré, sur quatre parcelles de blé isolées, semées le 15 octobre 1954 avec la variété « Etoile de Choisy ». Les moyennes des pourcentages de tiges infectées, des quatre répétitions, étaient à la récolte, en juillet, les suivantes :

Contaminations du 15 novembre 1954 : Mycélium 92, conidies 75.

Contaminations du 15 mars 1955 : Mycélium 85, Conidies 42.

L'inoculation artificielle de semis de printemps est, de même, réalisable en plein champ ; en 1953 et en 1956, la pulvérisation de mycélium broyé a provoqué des symptômes du *C. herpotrichoides* sur environ 50 p. 100 des tiges.

Dans tous les cas, on peut effectuer l'inoculation dès le moment où les plantes possèdent une feuille, le stade coléoptile pouvant même être choisi pour l'inoculation des essais en serre.

Les techniques décrites ci-dessus, ne permettent pas de travailler en conditions aseptiques ; il est possible, cependant, d'obtenir des conidies en culture pure en adoptant la méthode de Sprague (33-38) ou celle de Glynne (16).

3° NOTATION DES SYMPTOMES DU C. HERPOTRICHOIDES.

Les essais en serre sont notés sur des plantes possédant entre 4 et 6 feuilles environ, c'est-à-dire 45 à 50 jours après le semis ; en champ ils sont dépouillés à maturité, en observant des tiges lignifiées. Il a donc été nécessaire de mettre au point deux systèmes de notation différents, selon que l'on opère sur plantules ou sur plantes adultes.

1° Notation des plantules.

La tige des jeunes plantes est constituée de gaines concentriques, emboîtées les unes dans les autres ; elle est attaquée par un parasite qui pénètre successivement les différentes gaines, en partant du coléoptile.

La notation consiste, simplement, à évaluer la profondeur de pénétration, en se basant sur la présence, à la face externe des gaines, d'un stroma noir bien délimité et très caractéristique du *C. herpotrichoides*.

On déboîte successivement chacune des gaines, en tirant latéralement sur la feuille qui la prolonge et l'on note : 1, la présence d'un stroma sur la première ; 2, un stroma implanté sur la seconde et ainsi de suite.

La moyenne des fréquences de chaque note caractérise la pénétration du piétin pour un échantillon donné, l'équation personnelle de l'observateur n'intervenant pas dans le dépouillement des résultats.

La variable arbitraire 0-1-2... suppose que l'on attribue la même valeur à chaque gaine pénétrée et que les fréquences observées sont normalement distribuées, dans le cas où l'on désire effectuer une analyse de la variance des résultats. Ces deux hypothèses n'étant pas vérifiées, on n'utilisera la notation directe que dans les essais comportant une seule variété, semée, inoculée, et notée aux mêmes dates.

Pour les autres types d'essais (traitements chimiques, comportement variétal), on utilisera le fait que les fréquences d'apparition des stromas, sur les différentes gaines, font partie d'une distribution binomiale, lorsque la variable est le pourcentage des gaines attaquées. Pour effectuer l'analyse de la variance il faudra ensuite utiliser la transformation angulaire de Bliss.

Pratiquement, il est très simple de se constituer un tableau de notation, dans lequel on lit directement la valeur, en angles, de la pénétration ; le nombre des valeurs possibles étant limité par le nombre total de feuilles et celui des gaines malades (tableau I).

TABLEAU I

Valeurs de la variable de notation des symptômes du C. herpotrichoides

Nombre de gaines attaquées	Pourcentage d'attaque					Variable de notation				
	Nombre total de gaines					Nombre total de gaines				
	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	50,0	33,3	25,0	20,0	16,6	45,0	35,2	30,0	26,5	24,0
2	100,0	66,6	50,0	40,0	33,3	90,0	54,7	45,0	39,2	35,2
3		100,0	75,0	60,0	50,0		90,0	60,0	50,8	45,0
4			100,0	80,0	66,6			90,0	63,4	54,6
5				100,0	83,3				90,0	65,9
6					100,0					90,0

Si, par exemple, une plante de 5 feuilles possède 3 gaines attaquées le pourcentage d'attaque est de 60, mais l'on note directement 50,8. La notation, tout en étant rapide, est particulièrement simple et objective.

2° Notation des plantes adultes.

Il est plus aisé de noter des tiges encore vertes que des tiges arrivées à complète maturité, sur lesquelles les symptômes se détachent avec moins de netteté. Le système de notation mis au point à Versailles en 1951 (40), a été aménagé et amélioré par plusieurs années de pratique. En effet, les lésions externes de la tige ne sont que le reflet de la désorganisation interne provoquée par le *C. herpotrichoides*. Théoriquement, il faudrait apprécier le volume des tissus nécrosés, mais l'on peut se contenter d'évaluer, sur une coupe transversale, le pourcentage de surface détruite par le parasite, dont la couleur brune se détache bien, lorsque la tige est encore verte.

Le mycélium du parasite, s'il détruit les tissus parenchymateux, respecte le xylème (38) et ne provoque pas, de ce fait, un flétrissement généralisé des plantes. Les pertes de rendement par épi ne correspondent donc pas exactement à la surface détruite mais lui sont proportionnelles.

Le tableau II donne les différents éléments du système de notation utilisé à Versailles.

TABLEAU II

Notation des dégâts du C. herpotrichoides *sur plantes adultes.*

Classes	Symptômes externes	Surface nécrosée p. cent,
0	Aucun	0
1	Une tache ocellée	0 à 5
2	Deux ou trois taches ocellées	5 à 10
3	Taches confluantes n'entourant pas la tige	10 à 25
4	Lésions entourant la tige	25 à 75
5	Tige creusée, cassée ou versée	totalité

On constate que la classe 5 (totalité de la section d'une tige atteinte) correspond aux pertes de beaucoup les plus importantes. Cette observation a conduit à utiliser, pour l'étude du comportement en champ de différentes variétés, une notation plus rapide, fondée sur la présence de tiges complètement attaquées (note 5).

Les plantes sont réparties dans les 5 catégories suivantes :

Catégorie I : absence de talles de note 5.
Catégorie II : présence de talles de note 5.
Catégorie III : moins de 50 p. 100 de note 5.
Catégorie IV : plus de 50 p. 100 de note 5.
Catégorie V : toutes talles de note 5.

Le comportement d'une variété peut être caractérisé par la fréquence des catégories extrêmes. Sous réserve d'analyser un même nombre

de plantes par parcelle, ces fréquences peuvent être directement utilisées dans une analyse statistique, après transformation angulaire. Dans une telle analyse, toutefois, les fréquences faibles ne peuvent être valablement comparées aux fréquences élevées par suite de l'hétérogénéité des variances. Aussi, il est utile de prévoir deux sortes de comparaisons, ainsi que deux variétés témoins (ou deux groupes de témoins) « sensible » et « peu sensible ». La comparaison des variétés sensibles s'effectue suivant la fréquence de la catégorie V, tandis que celle des variétés « peu sensibles » est fondée sur la fréquence de la catégorie I (ou de la catégorie I et II).

V. — IMPORTANCE AGRONOMIQUE DU PIÉTIN-VERSE

On trouve dans la littérature (35), des évaluations de pertes globales dûes au piétin-verse, dans certaines zones localisées et dans certaines conditions de culture. De telles données n'ont pas un sens suffisamment général pour définir dans le détail l'importance agronomique de la maladie ou pour préciser, quelques soient les conditions de la culture, le seuil à partir duquel elle devient nuisible.

De façon à placer le piétin-verse dans les limites de ses effets sur le rendement, il nous a paru indispensable d'étudier les résultats de l'action du parasite sur son hôte.

Le rendement d'une culture de blé dépend de trois facteurs principaux : le nombre de tiges (population épis), le nombre de grains par épis (fertilité épi) et le poids moyen des grains (poids de mille grains). Chacun de ces facteurs est modifié par les attaques du *C. herpotrichoides*, en fonction des degrés de gravité de la maladie, tels qu'ils ont été définis dans le tableau II.

1° EFFET SUR LA POPULATION ÉPIS.

Le piétin-verse réduit la population épis, au cours de l'hiver, en tuant, à la suite d'attaques précoces, les jeunes talles nées sous les gaines des premières feuilles. Un dessèchement caractérise bien les dégâts, l'abondance du stroma entourant complètement les tissus engainés, en est un signe distinctif. La mortalité n'est jamais très importante ; pour une attaque moyenne, son effet se trouve en partie limité par la formation de talles nouvelles qui, par suite de leur apparition tardive, sont peu attaquées, mais également moins productives.

Grâce à un essai réalisé en champ en 1954-55, on a pu comparer la population de parcelles contaminées artificiellement à celle de parcelles saines. La contamination, sur la variété de blé Etoile de Choisy, a été assurée par une pulvérisation de mycélium broyé, début novembre. Des

notations ont été effectuées, pour les quatre répétitions, le 9 mars et le 1er juillet 1955 ; elles ont fourni les résultats présentés dans le tableau III.

Tableau III

Nombre de tiges par mètre linéaire à deux périodes de l'année 1955 *dans des parcelles contaminées* (*C*) *ou non* (*NC*) *par le* C. herpotrichoides.

Blocs	Le 9 Mars			Le 1er Juillet.		
	NC	C	Pertes p. 100	NC	C	Pertes p. 100
1	77	57	26,0	91	70	23,0
2	82	56	31,7	87	70	19,5
3	81	53	34,5	76	62	18,4
4	71	50	29,7	67	57	15,0

La contamination a produit des symptômes sur la totalité des plantes, les pertes observées sont donc exceptionnelles. Elles ont été en partie compensées par le tallage, postérieurement au 9 mars, c'est-à-dire par des tiges à faible productivité.

Les attaques tardives ne provoquent pas la destruction de jeunes talles, la diminution de la population n'est pas toujours nuisible, surtout dans le cas de semis denses.

On peut donc admettre que, sauf attaque exceptionnellement forte, ce premier facteur du rendement n'est pas modifié trop sévèrement par le piétin.

2° EFFET SUR LE POIDS DE 1000 GRAINS.

Le poids de 1 000 grains, critère sensible et utile pour apprécier l'échaudage, a été utilisé dans plusieurs essais sur diverses variétés de blé. Il a été obtenu, pour contrôler et éviter les erreurs, en faisant la somme des poids de deux prélèvements de 500 grains dénombrés à la main. L'utilisation de planches percées d'alvéoles donne de mauvais résultats, en opérant un choix systématique des grains les plus échaudés.

Pour apprécier l'influence de la maladie sur le poids de 1 000 grains, on a trié, en champ, des tiges portant des degrés d'attaque tels qu'ils sont définis dans le tableau II. Les épis prélevés dans chaque classe de notation ont été battus à la main et les grains nettoyés avec soin.

Le premier essai, effectué sur la récolte de 1954, a donné les résultats représentés sur le graphique n° 1. Les pourcentages des pertes observées pour chaque catégorie, établis par rapport à la moyenne des classes 0-1 et 2, sont indiqués dans le tableau IV.

TABLEAU IV

Pourcentages des pertes en poids de 1 000 *grains pour quatre variétés de blé.*

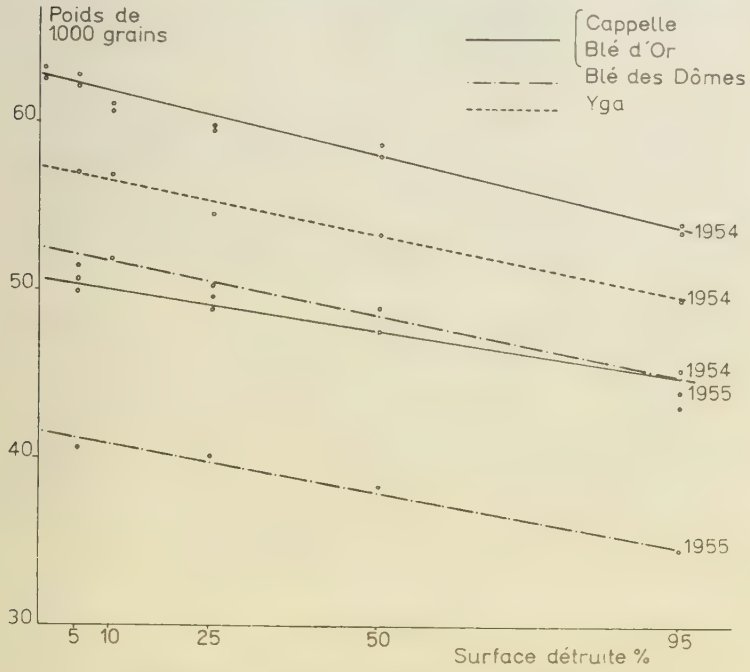
Variétés de blé.	Classes de notation			
	0-1-2	3	4	5
Cappelle Desprez	0	3,2	4,7	12,7
Yga Blondeau	0	0,3	3,0	14,6
Blé d'Or	0	4,1	6,8	13,4
Blé des Dômes	0	2,1	4,3	14,3

GRAPHIQUE 1. — Influence du pietin-verse sur le poids de 1000 grains.

La diminution du poids de 1 000 grains, en fonction de la gravité des symptômes observés est donc très sensible ; elle est à peu près la même, quelque soit la variété utilisée, surtout pour les attaques de degrés 4 et 5. Il faut noter que la classe 5 représente, de loin, les lésions les plus nuisibles.

Ce fait s'observe bien sur les courbes du graphique n° 1, dont l'allure mérite quelques explications.

Pour les variétés Blé des Dômes et Yga, le poids de 1 000 grains aug-



Graphique 2. — Importance des lésions du C. herpotrichoides.

mente à partir de la classe 0 pour passer par un maximum et décroître, ce qui semble paradoxal. Ces deux variétés sont parmi les plus sensibles à la maladie et il est difficile de trier, dans une parcelle très infestée, des tiges saines ou porteuses de taches ocellées des types 1 et 2. Seules les talles tardives sont peu atteintes, mais leur productivité est faible au point de rester inférieure à celle des tiges plus âgées portant des lésions de la classe 3.

Cette observation n'est pas valable pour des variétés peu sensibles, telles : Cappelle-Desprez ou Blé d'Or, chez lesquelles on peut aisément trier des tiges peu attaquées ou saines.

Les courbes du graphique n° 1 ne sont pas des droites, ce qui montre qu'il n'y a pas proportionalité entre les deux variables ou que l'échelle arithmétique choisie pour représenter les classes de notation donne un mauvais ajustement. Sur le graphique n° 2, les pertes du poids de 1.000 grains sont représentées en fonction d'une autre variable : le pourcentage de surface nécrosée sur une coupe transversale de la tige au niveau des lésions.

Dans ce cas, les courbes obtenues sont des droites et les pourcentages de destruction se trouvent pondérer parfaitement les classes du système de notation. La notation des symptômes du *C. herpotrichoides*, telle qu'elle a été proposée, est de ce fait très cohérente et l'échelle adoptée est logarithmique.

En 1955, un essai semblable a confirmé les résultats de la précédente année (graphiques 2 et 3) avec les variétés Cappelle-Desprez, Blé d'Or, Blé des Dômes et Etoile de Choisy. En 1957, l'influence du piétin-verse sur le poids de 1.000 grains a, de nouveau, été vérifiée.

La maladie provoque donc un échaudage caractérisé, manifestation très fréquente chez des variétés résistantes à la verse.

3° EFFET DU PIÉTIN-VERSE SUR LA FERTILITÉ DE L'ÉPI.

Parallèlement à l'étude du poids de 1 000 grains et dans les mêmes conditions, on a cherché à mettre en évidence le lien susceptible d'exister entre les principaux symptômes et le nombre moyen de grains par épi.

Ce nombre est diminué sous l'action du parasite, comme en témoignent les courbes du graphique n° 3, de la même manière que le poids de 1 000 grains. Les pourcentages des pertes enregistrées sont cependant un peu plus élevés, comme en rend compte le tableau V.

Tableau V

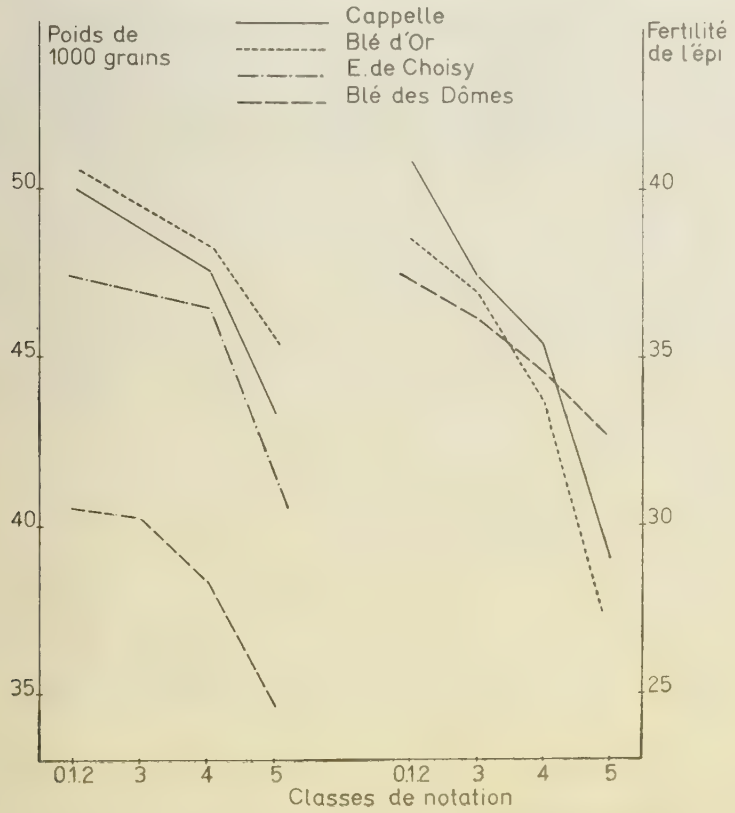
Pourcentage des pertes en nombre moyen de grains par épis (1955).

Variétés de blé	Classes de notation			
	0-1-2	3	4	5
Cappelle Desprez : 1	0	4,5	15,2	26,2
Cappelle Desprez : 2	0	6,5	10,2	30,0
Cappelle Desprez : 3	0	8,1	15,4	31,8
Blé d'Or : 1	0	3,9	12,6	31,5
Blé des Dômes : 1	0	8,4	8,4	9,4
Blé des Dômes : 2	0	6,4	5,8	16,6

Il est à noter la moindre influence de la maladie sur la fertilité de l'épi chez Blé des Dômes, variété reconnue très sensible. La difficulté de trouver des tiges peu atteintes dans les parcelles très infestées de cette

dernière variété peut, comme il a déjà été souligné au chapitre précédent, expliquer cette anomalie. Il y aurait donc lieu de comparer les résultats obtenus avec ceux d'une parcelle voisine non infestée.

La diminution de la fertilité de l'épi porte sur les fleurs du sommet de l'épi et sur les fleurs centrales des épillets. Chez la variété Blé des Dômes,



Graphique 3. — Influence du piétin-verse sur deux facteurs du rendement.

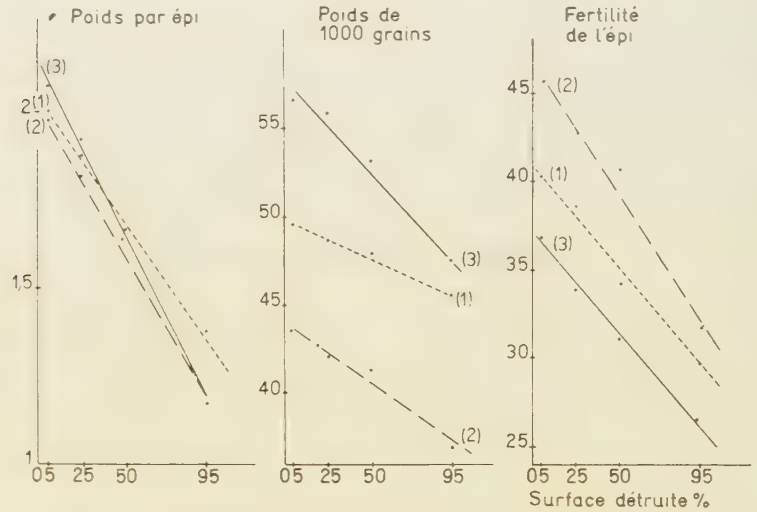
la fleur centrale des épillets, même en l'absence de maladie, est souvent stérile ; elle ne l'est pas chez les blés utilisés en comparaison (Cappelle et Blé d'Or). Cette remarque pourrait également expliquer pourquoi la fertilité de Blé des Dômes est peu affectée par les attaques graves du *C. herpotrichoides*, alors que son poids de 1 000 grains l'est tout autant que celui des variétés en comparaison.

Dans l'ensemble, et pour les variétés productives surtout, la diminution de la fertilité est plus grave que celle du poids de 1 000 grains ;

le piétin-verse est plus une maladie stérilisante que la cause d'un échaudage. Pour un épi dont la production serait de 2 grammes de grains, les pertes occasionnées par une attaque de degré 5 se décomposeraient en deux éléments : 400 mg du fait de la stérilité et 250 mg à cause de l'échaudage.

4° EFFET DU PIÉTIN-VERSE SUR LE RENDEMENT DE L'ÉPI.

Le rendement d'un épi étant le produit du nombre de grains par le poids de ces grains, il est aisé, en utilisant les éléments des deux précédents chapitres, de déterminer l'influence du piétin-verse sur ce rende-



Graphique 4. — Variations des facteurs du rendement pour trois échantillons de blé Cappelle atteints de piétin-verse.

ment. D'après les tableaux IV et V, les baisses de rendement maximum pour un épi n'excèdent pas 35 à 40 p. 100, pour les lésions les plus graves. La diminution du poids de grains par épis est fort constante, quelles que soient la situation et les conditions de la culture, pour une variété donnée. Elle peut résulter d'une modification plus ou moins importante de l'un ou l'autre des facteurs du rendement, tout en restant une valeur sûre, utilisable dans une notation parcellaire de la maladie.

Sur le graphique n° 4, on a représenté la variation du poids moyen des épis de la variété Cappelle en fonction des degrés croissants de maladie, pour trois parcelles cultivées dans des situations différentes. Cette variation est la même pour les trois échantillons mais elle résulte de modifications très différentes de la fertilité épi et du poids de 1 000 grains ;

modifications restant en accord avec les résultats exposés par ailleurs, c'est-à-dire proportionnelles au pourcentage de destruction d'une section de la tige.

5° FACTEURS COMPENSATEURS.

Les résultats présentés dans les chapitres précédents ont été obtenus en considérant des tiges prises individuellement, ils ne peuvent être directement appliqués à la détermination des effets du piétin sur le rendement d'une culture. Il importe de considérer, dans ce but, les modifications produites sur le rendement d'une plante composée de plusieurs tiges dont les unes pourront être attaquées et les autres saines. Le *C. herpotrichoides* ne s'attaque pas aux racines et ne modifie pas l'alimentation d'une plante donnée. Il est intéressant de chercher à déterminer la réaction des tiges saines d'une plante malade, en ce qui concerne leur rendement individuel.

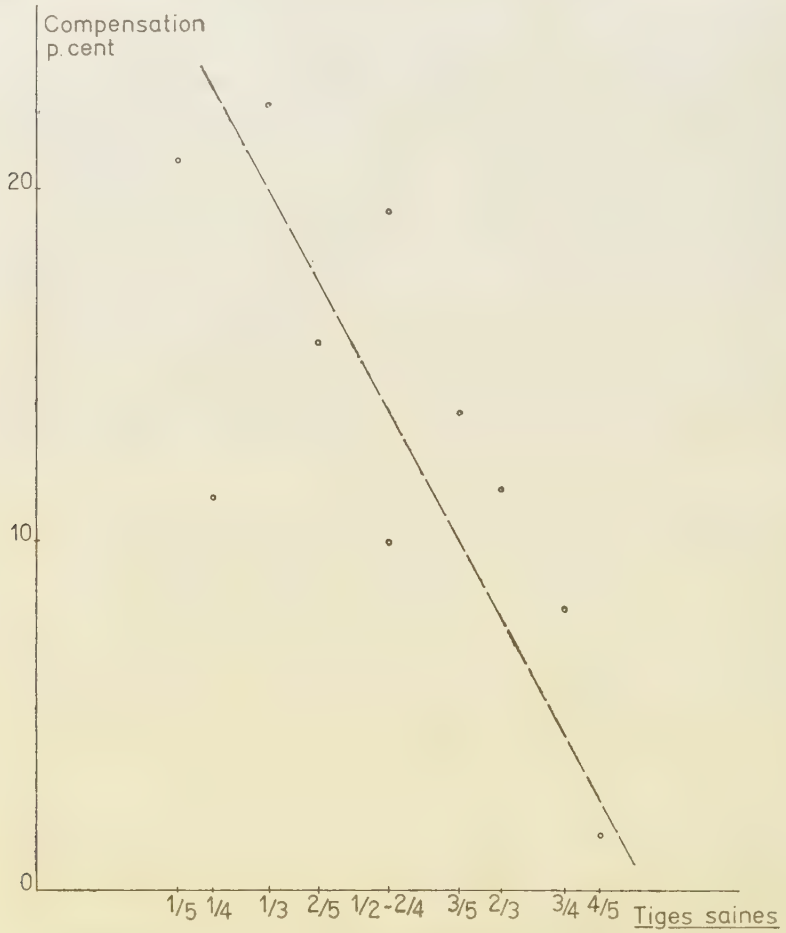
Un essai effectué en 1955, avec la variété de blé Etoile de Choisy, a permis de montrer que l'accroissement de productivité des tiges saines pouvait, dans une certaine mesure, compenser les pertes subies par les tiges malades d'une même plante. Un tri minutieux de plantes, portant

Tableau VI

Productivité des tiges saines et malades sur des plantes de Blé de diverses catégories attaquées par le C. herpotrichoides.

Catégories de plantes		Nombre d'épis	Poids par épi	Poids de 1 000 grains	Fertilité de l'épi
2 tiges	1 saine	14	1,360	50,2	27,0
	1 malade	14	1,094	42,7	25,6
	2 saines	32	1,209	48,5	24,9
3 tiges	1 saine	16	1,537	51,5	29,9
	2 malades	33	1,188	48,2	24,6
	2 saines	46	1,204	46,4	25,9
	1 malade	24	1,066	45,4	23,5
	3 saines	51	1,174	47,5	24,7
4 tiges	1 saine	13	1,127	47,5	23,7
	3 malades	40	1,002	45,7	22,3
	2 saines	29	1,113	47,8	23,3
	2 malades	29	1,004	48,7	21,4
	3 saines	45	1,221	47,7	25,6
	1 malade	15	1,123	48,1	23,3
	4 saines	52	1,084	47,1	23,0
5 tiges	1 saine	8	1,075	48,3	22,2
	4 malades	32	0,851	45,0	19,3
	2 saines	19	1,158	48,3	24,0
	3 malades	29	0,976	47,0	20,7
	3 saines	15	1,386	50,1	27,6
	2 malades	10	1,195	48,6	24,6
	4 saines	40	1,096	48,0	22,8
	1 malade	10	1,080	46,0	23,5
	5 saines	50	1,172	48,8	24,0

2, 3, 4 et 5 tiges, a été réalisé dans une parcelle homogène, contaminée assez fortement. Pour chacune des catégories de plantes, on a distingué tous les cas possibles concernant les rapports tiges malades, tiges saines, comme il est indiqué dans le tableau VI qui résume les résultats enregis-



Graphique 5. — Compensation pour le rendement entre tiges saines et malades d'une même plante.

trés. Toutes les données présentées dans ce tableau sont les moyennes obtenues pour des tiges individuelles. On a considéré comme malades, étant donné la difficulté du tri, toutes les tiges portant des symptômes de degrés 3, 4 et 5, ce qui diminue sensiblement les écarts qu'on aurait pu obtenir en ne considérant que des lésions graves.

Les résultats du tableau VI indiquent qu'une compensation existe

sans aucun doute entre tiges saines et malades d'une même plante et qu'il est difficile d'en définir la loi, d'après un essai conduit dans une parcelle très infestée.

En effet, le degré d'attaque étant fonction de la précocité de la contamination, les tiges saines sont souvent des talles tardives, les tiges notées 3 ou 4, pouvant alors avoir un rendement supérieur ou peu inférieur si elles appartiennent aux trois premières talles formées. Trop de facteurs de variation interviennent dans ce problème pour qu'il soit aisé de le résoudre parfaitement. Les écarts observés sont d'autant plus importants que le nombre des tiges saines est plus petit, par rapport à celui des tiges malades, ce qui est bien en accord avec l'hypothèse d'une compensation. Ce fait est particulièrement bien visible sur le graphique n° 5 qui représente la variation du pourcentage des écarts entre tiges saines et tiges malades en fonction de la proportion de tiges saines, quelle que soit la catégorie de plante considérée.

La compensation pour le rendement est donc importante dans le cas de fortes attaques, laissant subsister une faible quantité de tiges saines ; elle jouera un rôle plus modeste si la maladie n'atteint pas 50 p. 100 des tiges présentes sur l'ensemble des plantes de la culture.

6° EFFET DU PIÉTIN-VERSE SUR LE RENDEMENT D'UNE CULTURE. SEUIL DE NUISIBILITÉ.

L'analyse des facteurs de variation du rendement étant faite, il importe d'en apprécier la portée agronomique et d'évaluer l'importance pratique d'une attaque de piétin. Les pertes dues à la dépréciation de la qualité du grain par échaudage sont difficiles à évaluer, on ne tiendra compte que des diminutions du poids de la récolte.

On peut admettre que la maladie est grave à partir du moment où les pertes provoquées dépassent le prix de revient d'un traitement chimique efficace, c'est-à-dire celui de 2 à 3 quintaux de blé. Pour le rendement moyen d'une culture, le piétin-verse est donc nuisible lorsqu'il provoque une diminution de rendement supérieure à environ 6 à 8 p. 100.

Cette diminution est surtout le fait des attaques de degrés 4 à 5 sur des tiges prises individuellement, les lésions des types 1, 2 et 3 étant peu nuisibles, comme il a été précisé. Or, les pertes provoquées par des lésions de degré 5 sont au maximum de 35 à 40 p. 100 pour une tige donnée, de 15 à 25 p. 100 lorsque le symptôme est de degré 4.

Dans ces conditions, la nuisibilité du piétin-verse n'est donc d'importance agronomique que lorsque 20 à 25 p. 100 des tiges portent des attaque des degrés 4 et 5,ce pourcentage admissible constitue le seuil de nuisibilité.

Si ce seuil n'est pas dépassé, il n'y a pas lieu d'intervenir contre la

maladie : si par contre il doit l'être, la rentabilité d'un traitement chimique est assurée. Le pourcentage des symptômes des types 4 et 5 ne peut, en fait, être déterminé qu'à la récolte, c'est-à-dire beaucoup trop tard pour permettre une intervention. Il est donc de la plus haute importance de chercher à prévoir, en temps utile, le dépassement éventuel du seuil de nuisibilité. Les chapitres qui suivent sont principalement consacrés à la mise au point d'une méthode de prévision des épidémies nuisibles.

VI. — L'INOCULUM ET SES SOURCES.

Les attaques du piétin-verse sont caractérisées par d'importantes variations annuelles. Au cours des années favorables, la maladie est non seulement grave, mais largement répandue dans les zones de culture du blé ; au cours des années peu propices à son développement, on la rencontre sporadiquement, dans des conditions anormales de culture. Ces variations sont liées aux conditions climatiques de l'hiver et du printemps et plus particulièrement à celles de la longue période végétative des blés séparant le semis du stade de la montée. L'importance des attaques sera donc fonction de l'importance des contaminations, le piétin-verse pouvant être considéré comme une maladie épidémique lente, disséminée par la forme conidienne du *C. herpotrichoides*. Le caractère épidémique du piétin est bien illustré par les observations concernant l'influence du précédent cultural. Gaudineau, Guyot et d'autres auteurs, ont signalé la présence du piétin-verse sur des parcelles n'ayant pas porté de céréales depuis de nombreuses années ; il nous a été donné d'observer également des cas semblables, indiquant la possibilité d'un transport aérien important de la maladie.

En cherchant à déterminer les conditions d'établissement des épidémies du piétin-verse, nous avons été amené, en premier lieu, à préciser l'importance de l'inoculum primaire et de ses sources.

1° L'INOCULUM.

Le *C. herpotrichoides* n'est pas plus un habitant normal du sol qu'un champignon de la rhizosphère, il ne s'attaque qu'aux parties aériennes des plantes. Il est cependant certain que le sol constitue un réservoir de l'inoculum primaire qui est à l'origine des premières contaminations. La conservation du *C. herpotrichoides* dans le sol est liée à la présence de débris de récolte : gaines et chaumes, sur lesquels il se maintient en vie latente. La nécessité de tels supports a été montrée, en 1955, à partir de prélèvements de terre dans un champ fortement infesté de piétin, au cours de l'année 1954. Les échantillons, prélevés à différentes profondeurs, ont été conservés en pots, dans les conditions du milieu extérieur et ensemen-

cés, au bout de 6 mois, avec du blé de la variété sensible Yga. Les pourcentages de plantes atteintes de la maladie sont indiqués dans la colonne 1 du tableau ci-dessous, la colonne 2 contient les pourcentages d'attaque pour des prélèvements identiques, dans une parcelle contiguë mais non infestée.

	(1)	(2)
Couche de terre superficielle : 5 cm tamisée	10	3
Couche de terre superficielle : 5 cm non tamisée (présence de débris de récolte)	50	3
Couche située entre 5 et 10 cm de profondeur	10	2
Couche située entre 10 et 15 cm de profondeur...	0	0

Une seconde partie des mêmes prélèvements a été semée en blé au bout d'un an, dans les mêmes conditions. Seule la couche superficielle non tamisée possédait encore un inoculum actif ayant contaminé 20 p 100 des plantes, tous les autres échantillons de terre ont fourni des plantes indemnes de piétin.

Les fragments de chaumes infestés produisent dans le sol et surtout à sa surface, un grand nombre de conidies du *C. herpotrichoides*. La sporulation commence à l'automne, lorsque les chaumes ont subi l'action du froid, elle est ensuite continue pendant toute la période hivernale, à condition que l'humidité reste importante, ce qui est généralement assuré à une telle époque de l'année. Les zones fructifères ne sont pas décelables à l'œil nu, elles occupent l'emplacement de stromas ou des lésions ocellées. Dans une parcelle déchaumée nous n'avons pas noté de fructifications sur les débris enfouis, la sporulation se produit à l'air libre et le plus souvent au niveau du sol où l'humidité est la plus élevée.

Les chaumes desséchés ne produisent plus de spores, mais n'en perdent pas pour autant cette propriété ; il suffit de les placer en atmosphère saturée de vapeur d'eau, pour qu'au bout de quelques jours réapparaissent de nouvelles conidies. Les basses températures n'ont pas d'action sur la fécondité des débris infestés ; en 1956, la sporulation a repris immédiatement après la période de froid intense qui détruisit les cultures de blé. Les températures élevées de l'été ne modifient pas non plus les possibilités de fructification du champignon, même lorsque les chaumes sont arrachés et conservés au soleil.

Tant que les fragments ligneux, supportant la phase saprophytique du *C. herpotrichoides*, n'ont pas été entièrement décomposés dans le sol, ils peuvent assurer la formation des conidies. Nous avons pu, chaque année, récolter des spores sur des morceaux de chaumes souvent très petits, datant de une ou deux années.

La quantité d'inoculum mobile, constituée par les résidus d'une récolte atteinte de piétin est difficile à apprécier ; à l'automne suivant immédiatement la moisson elle est considérable, surtout si les chaumes ont été laissés en place. Son importance pour les années ultérieures est fonction des pratiques culturales ; elle reste grande si une légumineuse

a été semée en couverture sur la céréale, les chaumes restant longtemps en place dans ce cas. De toute manière, elle diminue rapidement et de façon considérable après une année de culture succédant à la céréale.

Il serait particulièrement important de pouvoir effectuer une détermination quantitative de l'inoculum présent, chaque année à l'automne ; malheureusement, trop de facteurs président à sa formation. On peut cependant, admettre avec GAUDINEAU et GUYOT (10-21), la nécessité d'une campagne favorable à une première multiplication pour que la quantité d'inoculum ait atteint un seuil dangereux pour la culture suivante.

Des conidies de seconde formation apparaissent dès la fin de l'hiver, sur les lésions caractéristiques du piétin-verse, les plantes étant encore au stade du tallage. Cette sporulation est limitée aux gaines externes, elle n'intervient pas au niveau des stromas sous-jacents et se trouve sous la dépendance étroite des conditions du milieu, en particulier de l'humidité.

2° SOURCES PRINCIPALES D'INOCULUM

La plus importante source d'inoculum primaire est constituée par les chaumes infestés, abandonnés en place après récolte, qu'il s'agisse de chaumes de blé, d'orge ou d'avoine. Les repousses après moisson et les semis naturels constituent également un réservoir d'inoculum.

On a noté, au cours de plusieurs automnes, des taches ocellées nombreuses, sur des semis naturels arrivés au stade 5 ou 6 feuilles ; ces lésions produisent des conidies au moment de la levée des céréales semées normalement.

Les Graminées spontanées sont susceptibles d'héberger le *C. herpotrichoides* et on a pu obtenir des cultures pures de ce champignon, à partir des lésions récoltées dans la nature sur les espèces suivantes :

Agropyrum repens (L) Beauv.
Agropyrum caninum (L) Beauv.
Alopecurus agrestis L.
Agrostis canina L.
Bromus sterilis L.
Bromus mollis L.
Festuca elatior L.
Lolium perenne L.
Poa pratensis L.
Secale cereale L.

FOEX (10-11), SPRAGUE (30-37) et d'autres auteurs ont publié des listes de Graminées sensibles au piétin-verse. Il était intéressant de comparer leur sensibilité, après inoculation artificielle avec un broyat de mycélium et en utilisant le système de notation précédemment décrit.

L'observation des stromas est quelquefois difficile sur les tiges très petites de Graminées obtenues de semis, surtout lorsque leur sensibilité est faible. Dans certains cas, les stromas ont été caractérisés au microscope, ils sont toujours très typiques, quel que soit l'hôte considéré et malgré leur taille très réduite.

Pour quelques espèces, il n'a pas été possible de déceler la présence de stromas sous les taches apparues à la suite de l'inoculation artificielle ; on peut donc considérer qu'elles sont pratiquement résistantes, puisque seules les plaques mycéliennes ont été prises en considération au cours de la notation, comme définitivement caractéristiques de l'attaque.

Les espèces suivantes : *Agrostis palustris* Huds, *Cynosurus cristatus* L., *Festuca rubra* L. et *Poa nemoralis* L., ont, d'après ces normes, été considérées comme résistantes.

On trouvera dans le tableau VII le résumé des résultats obtenus, exprimant à la fois le pourcentage d'attaque de chaque espèce et, pour les plantes atteintes, le nombre moyen de gaines attaquées.

Pour chaque espèce, les chiffres obtenus sont la moyenne de trois répétitions de 100 plantes, la variété de blé Yga a été utilisée dans les mêmes conditions comme terme de comparaison.

TABLEAU VII

Réaction de quelques espèces de graminées à l'attaque du C. herpotrichoides.

Espèces inoculées	Plantes malades p. 100	Gaines pénétrées	Observations diverses
Blé variété Yga	100	3,00	
Agropyrum repens (L.) Beauv.	30	1,20	Stromas épais, larges.
Agrostis canina (L.) Beauv.	10	1,00	
Alopecurus agrestis L.	40	1,70	Stromas punctiformes.
Arrhenatherum elatius (L.) Beauv.	40	1,40	Stromas petits.
Trisetum flavescens (L.) Beauv.	2	1,00	Taches ocellées réduites.
Bromus inermis Leyss.	—	1,00	Levée très faible.
Dactylis glomerata L.	15	1,60	Gaines peu emboîtées.
Festuca elatior L.	60	1,60	Stromas abondants, épais.
Lolium perenne L.	25	1,00	
Lolium multiflorum Lam.	30	1,65	Stromas petits.
Phleum pratense L.	25	1,15	Stromas minuscules.
Poa pratensis L.	5	1,25	Stromas minuscules.

Parmi les Graminées les plus sensibles, il faut noter la fétuque élevée le vulpin des champs, l'avoine élevée et le chiendent, toutes adventices éventuelles des cultures de céréales. Le vulpin des champs, en particulier, très fréquent dans les champs de blé, ne joue sans doute pas un rôle très important puisqu'il n'est pas vivace. Les rhizomes des Agropyrum adventices des cultures sont sensibles à l'attaque du *C. herpotrichoides* et réagissent par de belles taches ocellées, sur lesquelles on trouve des conidies.

Les graminées spontanées constituent, sans aucun doute, une source d'inoculum pouvant intervenir dans l'épidémiologie du piétin-verse.

Parmi les céréales cultivées, l'orge est plus sensible que l'avoine et subit certaines années des attaques importantes.

VII. — DISSÉMINATION DU C. HERPOTRICHOIDES.

Le caractère épidémique du piétin-verse est lié aux possibilités de dissémination des conidies du *C. herpotrichoides*. Oort, (27) a fait une étude de la dissémination des conidies de seconde formation en repiquant, dans un champ sain, des plantes infectées ; il a observé des symptômes dans un rayon de 70 mètres autour du foyer.

En 1953, la preuve des possibilités de dissémination aérienne nous a été fournie en prélevant des plantes de blé dans les bordures d'un champ infecté artificiellement avec des fragments de chaumes malades, répartis simplement à la surface du sol après le semis. A 5 mètres du foyer, on a dénombré 44 p. 100 d'attaques du type 4 et 5 dans la bordure ouest et 62 p. 100 dans la bordure est, la dissémination ayant été fonction des vents sud-ouest dominants à Versailles.

Dans les bordures d'un champ, contaminé au printemps avec un broyat de mycélium, on a noté seulement 1 p. 100 d'attaques graves à l'ouest et 5 p. 100 à l'est, à 2 mètres de la zone inoculée. La dissémination a donc, dans ce cas, été très réduite et surtout tardive, puisqu'elle a résulté du transport des conidies de seconde formation qui ont produit des taches ocellées réduites sur 10 p. 100 des tiges situées à l'ouest et 25 p. 100 sur celles de la bordure est.

En 1954, la dissémination du *C. herpotrichoides* a été contrôlée, dans le temps, à 5 mètres de deux parcelles ; l'une inoculée avec des chaumes malades, l'autre avec une culture broyée. On a relevé les pourcentages d'infection suivants sur les tiges prélevées :

	10 Février	10 Avril	10 Juin
Contamination par chaumes.....	40	87	88
Contamination par culture broyée .	0	5	9

Le piétin-verse est donc bien une maladie épidémique disséminée par voie aérienne, il paraît essentiel de préciser les modalités de sa dissémination, après en avoir fixé l'importance.

1° IMPORTANCE DE LA DISSÉMINATION DES CONIDIES

L'importance de l'inoculum aérien du *C. herpotrichoides*, en fonction des différentes périodes de l'année intéressant la culture du blé, a été étudiée en exposant dans les conditions du milieu extérieur, des plantules

jouant le rôle de pièges pour les conidies disseminées. Ces plantes de blé étaient cultivées, à raison de 50 par terrine plate de 25 cm de côté, dans une case de serre isolée, jusqu'au stade une feuille. Les terrines étaient alors transportées dans un champ de blé, sur lequel des chaumes malades avaient été répartis pour servir de source d'inoculum, puis rentrées dans une autre case de serre, jusqu'à l'apparition des premiers stromas.

Des plantes pièges ont été ainsi exposées aux contaminations naturelles pendant des périodes variables, tout au cours de l'hiver 1953-1954, en des emplacements fixés, au nombre de 10, délimités par une légère excavation dans le sol, amenant les bases des jeunes tiges au niveau d'un semis normal de plein champ.

La notation des plantes pièges a été faite, dans tous les cas, 45 jours après leur rentrée en serre. Pour chaque plante, on a noté simplement la présence des contaminations, caractérisées par l'apparition de taches ocellées très typiques et d'un stroma. Il est aisé de distinguer, sur une même tige, deux ou trois lésions issues de conidies différentes tant leur délimitation est précise. Des terrines contenant des plantes de même âge, mais non exposées, ont été à plusieurs reprises transportées de la case de multiplication à celle réservée à l'incubation, de façon à détecter toute erreur provenant de disséminations fortuites à l'intérieur de la serre. Les plantes témoins, n'ont jamais été contaminées.

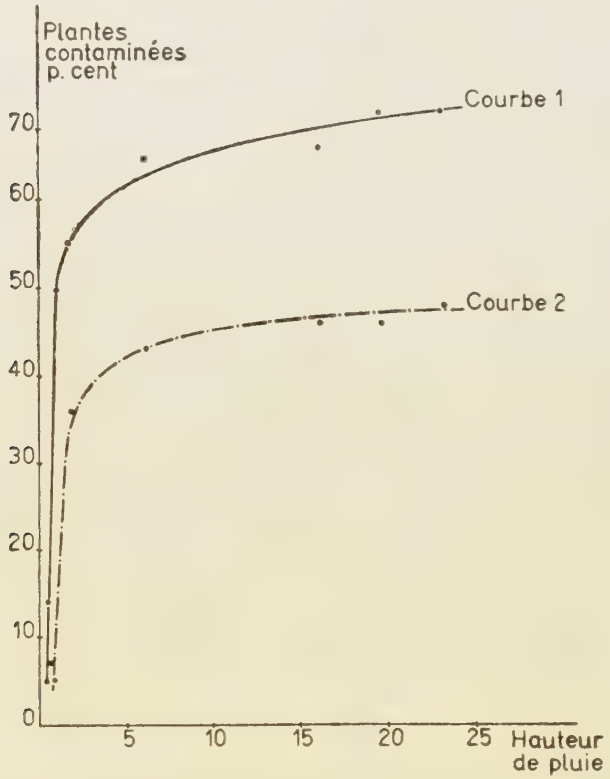
Dans le tableau VIII sont réunis les résultats obtenus, pour des expositions d'une durée de 7 jours, au cours de l'hiver ; le pourcentage des plantes contaminées a été obtenu en faisant la moyenne des plantes des 10 terrines, c'est-à-dire, à partir de 500 tiges réparties dans le champ d'expérience. En regard de chaque période d'essai, on trouvera dans le tableau VIII, les données météorologiques intéressantes pour l'interprétation des résultats et en particulier, les caractéristiques des chutes de pluie enregistrées.

TABLEAU VIII

Dissémination des conidies du C. herpotrichoides *formées au cours de l'hiver sur des chaumes de la précédente récolte.*

Exposition des plantes	Contaminations p. 100	Hauteur de pluie mm	Observations météorologiques diverses
Du 1-12 au 10-12	27	0,9	Vent faible à modéré.
Du 10-12 au 21-12	13	0,2	Vent faible.
Du 21-12 au 28-12	55	6,4	Vent modéré, pluie violente.
Du 28-12 au 4-1	45	1,7	Vent faible, averses.
Du 11-1 au 18-1	58	19,5	Vent assez fort, pluie violente.
Du 18-1 au 25-1	3	0,4	Vent faible.
Du 7-2 au 15-2	60	23	Vent modéré, forte pluie.
Du 15-2 au 22-2	25	6,2	Vent faible à modéré.
Du 22-2 au 1-3	56	15,9	Vent assez fort, averse très forte.
Du 1-3 au 8-3	94	4,5	Vent fort, averses violentes.

Les données météorologiques, et en particulier les caractéristiques du vent, ont été relevées à la Station de Bioclimatologie de Versailles ; elles sont donc relatives et ne représentent pas les conditions précises qui sont intervenues au niveau des plantes pièges. Les conidies formées sur les chaumes infestés sont transportées par la voie aérienne, en relation avec les chutes de pluie et en fonction de leur caractère.



Graphique 6. — Influences des facteurs météorologiques sur la dissémination du C. herpotrichoides.

Si, au lieu de calculer la moyenne des contaminations pour les 10 séries des plantes pièges, on les sépare en deux groupes : l'un situé sous le vent (1) l'autre sur le vent (2), on obtient les courbes du graphique nº 6. Il suffit d'une quantité de pluie assez faible pour déclencher la dissémination. Au-dessus d'un certain seuil, pour des chutes de pluie hebdomadaires supérieures à 1 mm, les courbes se séparent très nettement, en changeant brusquement de pente. Les pluies abondantes, sont souvent des pluies assez violentes qui peuvent épuiser rapidement l'inoculum ; certaines plantes ont pu recevoir plus d'une conidie, surtout lorsque les dissémi-

nations étaient importantes : deux raisons qui peuvent expliquer le changement de pente des courbes. Les différences des ordonnées des points obtenus, pour une chute de pluie considérée, sont dues à l'action du vent qui accompagne les précipitations.

La pluie et le vent sont donc les deux facteurs principaux de la dissémination des conidies du *C. herpotrichoides*, la méthode des plantes pièges n'était pas assez sensible pour en préciser les modalités d'action.

Au cours du printemps de 1954, les plantes pièges ont été disposées dans les mêmes conditions, au milieu de parcelles contaminées à l'automne de 1953 par une pulvérisation de mycélium broyé, ou dans les parcelles voisines non inoculées, servant à contrôler les contaminations de printemps. Les pourcentages d'attaque obtenus pour 4 parcelles malades et pour 4 parcelles témoins, à différentes périodes d'exposition, sont réunis dans le tableau IX.

TABLEAU IX

Dissémination des conidies du C. herpotrichoides *formées au printemps sur plantes atteintes de piétin.*

Exposition des plantes	Contaminations p. 100								Hauteur de pluie (mm)
	Parcelles infectées				Parcelles non infectées				
du 8-3 au 15-3	98	33	50	51	13	2	34	8	1
15-3 22-3	37	28	8	43	2	2	16	6	10,9
22-3 29-3	48	36	4	30	4	8	0	4	16,3
29-3 5-4	77	47	40	65	2	4	3	8	5
5-4 12-4	2	2	2	3	2	0	2	0	0
12-4 20-4	4	0	2	2	0	4	0	0	0
20-4 28-4	5	0	0	2	0	0	0	0	0
28-4 4-5	3	18	9	8	0	0	0	0	7,3

Pendant toute la période d'exposition, des conidies ont été présentes sur les gaines externes des plantes attaquées, dont la période de montée a débuté fin mars. Les plantes se sont développées en hauteur pour atteindre environ 50 cm vers le 10 mai et jouer le rôle d'écrans, limitant la dissémination.

De ce fait, les plantes pièges ont été surtout atteintes dans les parcelles malades et dans une faible mesure, au début de l'expérience, dans les parcelles témoins.

Les conidies de seconde formation se disséminent donc également par voie aérienne, surtout grâce aux précipitations ; au cours des semaines sèches, les conidies récoltées sur les plantes pièges ont été très peu nombreuses.

A partir du mois de mai, les durées d'exposition ont été réduites de façon à mieux détailler les conditions de la dissémination des conidies de seconde formation. Le tableau X présente les résultats obtenus.

TABLEAU X

Dissémination des conidies de seconde formation sur des plantes contaminées à l'automne et arrivant au stade de l'épiaison.

Exposition des plantes	Contaminations p. 100	Hauteur de pluie mm	Caractéristiques du vent
Du 6-5 au 7-5	6	0	Modéré à fort.
Du 7-5 au 10-5	3	0	Modéré à fort.
Du 11-5 au 12-5	2	0	Modéré.
Du 14-5 au 15-5	45	0,2	Faible.
Du 15-5 au 18-5	9	0	Assez fort.
Du 20-5 au 24-5	16	4,1	Modéré à fort.
Du 31-5 au 2-6	0	0	Faible.

Cette dernière expérience montre que le vent seul intervient dans le transport aérien des conidies du *C. herpotrichoides*, mais que les fortes émissions sont nécessairement accompagnées de chutes de pluie. A partir du mois de juin 1954, la dissémination a pris fin au milieu des parcelles malades ; elle était déjà nulle, dans les parties non infectées, depuis le début de mai, à cause de la montée rapide des plantes.

Afin de compléter les preuves de la dissémination aérienne du parasite responsable du piétin-verse, des plantes pièges ont été disposées à une hauteur de 50 cm au-dessus du sol pour 5 des emplacements utilisés dans l'expérience concernant les conidies de première formation. Pour ces 5 emplacements, on a comparé les pourcentages d'attaque au niveau du sol et en altitude : tableau XI.

TABLEAU XI

Dissémination des conidies de première formation, au niveau du sol et à 50 cm au-dessus, pour 5 emplacements différents.

Exposition des plantes	Situation des plantes	Contaminations p. 100	Hauteur de pluie (mm)	Caractéristiques météorologiques
Du 22-3 au 29-3	au sol	55 73 80 80 71	16,3	Pluie continue, vent faible à modéré.
	à 50 cm	47 41 4 21 25		
Du 29-3 au 5-4	au sol	89 93 93 92 100	5,0	Pluie violente, vent modéré à assez fort.
	à 50 cm	58 40 24 56 35		

La quantité de conidies récoltées, sur la terre, est toujours supérieure à celle que l'on recueille à 50 cm au-dessus du sol. Il est cependant montré que ces conidies sont véhiculées dans l'atmosphère, en quantité appréciable et susceptibles d'être entraînées par les courants aériens. La dispersion se produit en deux temps : phase de projection par l'action mécanique des gouttes de pluie et phase de dissémination par le fait du vent. A 50 cm au-dessus du sol, on peut admettre que les conidies sont libérées

des gouttelettes d'eau ou contenues dans des gouttelettes suffisamment fines pour être emportées à des distances notables. Il nous a paru important de vérifier cette hypothèse sur la dissémination aérienne des conidies du *C. herpotrichoides*.

2° MODALITÉS DE LA DISSÉMINATION DES CONIDIES DU C. HERPOTRICHOIDES.

Les résultats acquis, grâce à l'utilisation des plantes pièges, montrent l'importance des chutes de pluie dans la dispersion du piétin-verse. Il était nécessaire de déterminer les modalités de l'action des gouttes de pluie, de façon à préciser le phénomène de projection et à contrôler les périodes de dissémination. Ce contrôle est une condition indispensable à la prévision des épidémies, il doit pouvoir être effectué en utilisant uniquement les données de la climatologie qui sont en corrélation étroite avec la dissémination.

Le piégeage des conidies a été effectué, à partir de l'automne de 1954, en utilisant des lames porte-objet, recouvertes d'un film de lanoline et disposées autour d'une source d'inoculum constituée par des chaumes maintenus en conditions humides et constamment recouverts de conidies.

La lanoline a l'avantage, sur la vaseline par exemple, de mieux fixer les spores et de résister beaucoup plus longtemps au lessivage par des gouttelettes d'eau projetées.

Dans tous les cas, les lames ont été soustraites à l'action directe de la pluie grâce à un toit disposé à cet effet ; elles étaient inclinées à 45° vers le sol, la face lanolinée dirigée vers le foyer d'inoculum déposé sur le sol.

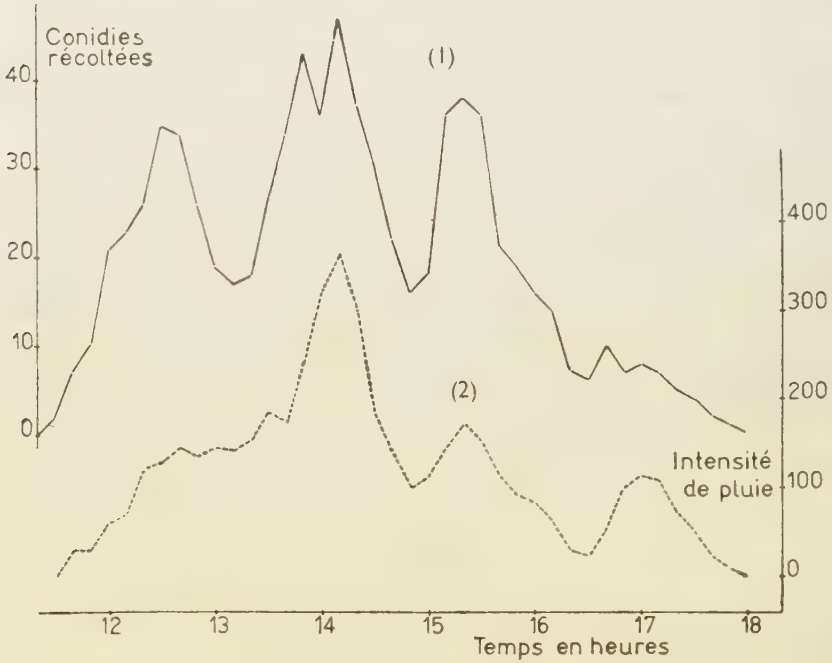
Les lames fixes sont peu maniables et ne permettent pas une analyse de détail ; la quantité de conidies qu'elles captent varie trop avec les changements de direction des vents. On leur a préféré, dans certains cas, des lames montées sur une girouette, pour éliminer le facteur direction du vent, dans l'étude des modalités de la projection.

Dans tous les cas, les lames ont été exposées directement à l'air libre. Les essais effectués avec un aspirateur amenant, par une tubulure, l'air au contact de la surface lanolinée ont tous été défectueux. En effet, la projection des conidies étant liée à la pluie, l'air aspiré est humide et chargé de gouttelettes d'eau qui se déposent sur les parois de la tubulure, même réduite à une courte longueur. Les conidies y sont retenues et n'arrivent qu'en faible quantité sur les lames destinées à les recevoir.

a) Projection des conidies.

Il est nécessaire, pour étudier, dans le détail, la projection des conidies, de réduire le plus possible les durées d'exposition des lames pièges. Dans ce but, elles sont fixées verticalement, tout autour du cylindre d'un

appareil enregistreur effectuant une rotation complète en 12 heures. Le cylindre est placé dans une boîte, communiquant avec l'extérieur par une étroite fenêtre, devant laquelle les lames circulent régulièrement. Le montage de l'appareil sur une girouette permet aux lames de se trouver situées constamment sous le vent par rapport à l'inoculum. Les chaumes sont disposés en une couche mince, circulaire, tout autour du pivot de la girouette ; la partie couverte de conidies dessinant un anneau, à l'intérieur du cercle décrit par le système de piégeage. Quelle que soit la direction du



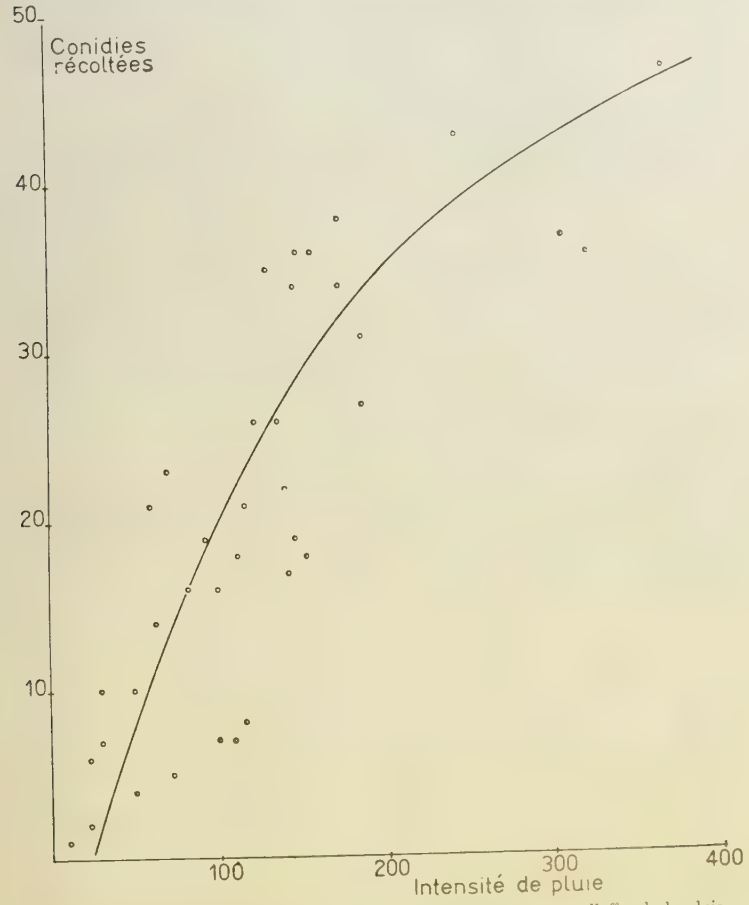
Graphique 7. — Rôle de la pluie dans la dissémination des conidies du C. herpotrichoides.

vent, les lames sont ainsi toujours placées face à une même quantité d'inoculum et à une distance constante ; disposition obligatoire pour éviter les variations importantes, dans le cas d'un enregistrement de courte durée.

Le dénombrement des conidies est fait par périodes d'égale durée, déterminées, sur les lames, par le déplacement du chariot du microscope ; les quantités de pluie correspondantes sont relevées sur le graphique du pluviomètre enregistreur.

Pour réduire les écarts dus à l'appareillage, on fait la somme de trois nombres consécutifs, pour les deux facteurs étudiés; procédé permettant, pour de telles études, d'obtenir un adoucissement des courbes de variation.

Un premier enregistrement a été effectué au cours de la journée du 8 décembre 1954. Les conidies, dénombrées par périodes de 10 minutes (courbe 1 du graphique nº 7), ont été projetées par des chutes de pluies élémentaires correspondantes, relevées sur le graphique du pluviomètre



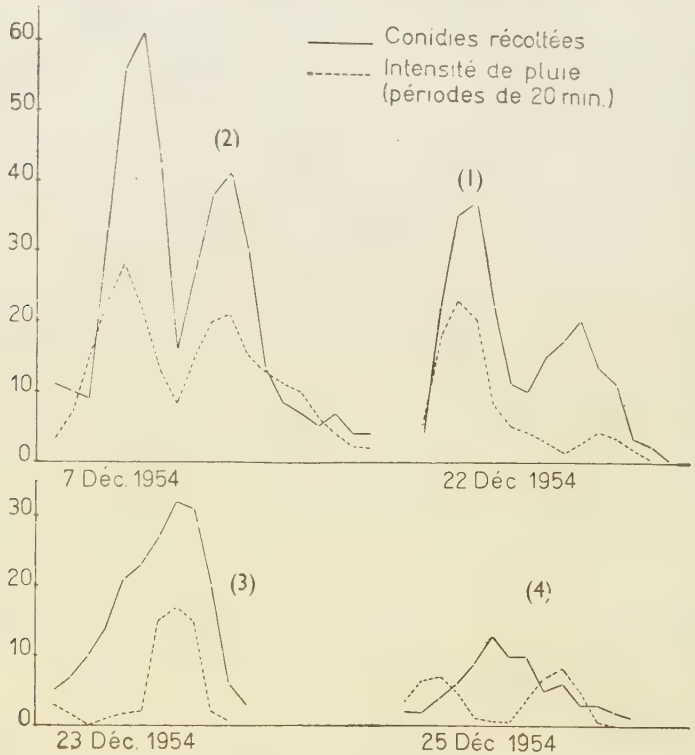
Graphique 8. — Projection des conidies du C. herpotrichoides sous l'effet de la pluie.

enregistreur (courbe 2 du graphique nº 7). Les deux courbes ont une forme semblable indiquant une relation entre les deux phénomènes, le plus grand étalement de la courbe 1 étant probablement dû à l'inertie de l'appareil d'enregistrement.

La courbe 2 est, construite points par points, la dérivée du graphique du pluviomètre. Elle représente les variations de la violence de pluie, les

valeurs obtenues ayant les dimensions d'une vitesse. On a désigné par I l'intensité de pluie définie par le rapport H D, c'est-à-dire, la quantité de pluie recueillie par unité de temps. H étant exprimé en millimètres et D en minutes, les rapports sont multipliés par 1 000 pour devenir plus maniables.

Les quantités de conidies récoltées sur les lames pièges sont proportionnelles aux intensités de pluie, comme on peut s'en rendre compte en



GRAPHIQUE 9. — Influence de l'intensité de pluie sur la projection des conidies du C. herpotrichoides.

observant le graphique n° 8. Une corrélation convenable existe entre les deux variables et un seuil d'intensité apparaît au-dessous duquel la projection des conidies est nulle.

D'autres enregistrements de récoltes de conidies ont été effectués les : 6, 7, 22, 23 et 25 décembre 1954 et dépouillés en fonction de périodes élémentaires de 20 minutes. Pour de telles périodes, on obtient toujours une relation étroite entre les nombres de conidies récoltées et les intensités de pluie correspondantes (graphique n° 9).

La courbe n° 4, du graphique n° 9, passe par deux maxima rappro-

chés, se traduisant par un seul, sur la courbe de récolte des conidies. Cette anomalie peut s'expliquer par une dispersion légère des conidies, de chaque côté de la fenêtre ménagée dans le cylindre abri, perceptible déjà sur la courbe nº 1 du graphique nº 7.

La dissémination des conidies du *C. herpotrichoides* débute donc bien par une projection purement mécanique, résultant de la transformation de l'énergie cinétique des gouttes de pluie.

b) **Dissémination par l'action du vent seul.**

Le vent est, par lui-même, un agent de dissémination des conidies du *C. herpotrichoides*, comme le montre une série d'observations effectuées en 1954, au cours d'une période d'un mois en ne choisissant que les jours sans précipitations.

Les conidies ont été récoltées sur trois lames lanolinées, situées à 5 cm au-dessus du sol et à 30 cm du foyer d'inoculum, montées sur une girouette simple ne portant pas d'appareil enregistreur. Les durées d'exposition ont toujours dépassé 5 heures. Les quantités de conidies récoltées ont été dénombrées sur 1 cm² de la surface des lames pièges, leurs moyennes pour les 3 lames sont données dans le tableau XII. Ce tableau précise, en outre, le nombre de conidies disséminées par heure et par cm² de lame ; ainsi que la vitesse moyenne journalière du vent, donnée par un anémomètre situé à 2 mètres au-dessus du sol. Les variations de la vitesse du vent n'ont pas été enregistrées, il n'est donc pas possible de tenir compte des coups de vent violents, sans doute importants, dans le mécanisme de la dissémination.

Tableau XII

Dissémination des conidies du C. herpotrichoides *sous l'action du vent.*

Date de notation	Conidies par cm² (moyenne)	Durée d'exposition (heures)	Conidies par cm² et par heure	Vitesse moyenne du vent (km/h)
21-11	141	48	3,00	9
25-11	12	7	1,70	13
26-11	63	21	3,00	13
27-11	42	5	8,40	20
10-12	64	24	2,66	14
17-12	0	24	0,00	4
20-12	0	48	0,00	2
21-12	6	24	0,25	4
3-12	56	24	2,33	13
4-12	24	21	1,14	7

Le vent seul est un faible agent de dissémination et il est très difficile d'établir les modalités de son action, surtout au niveau du sol, où les mouvements ascendants sont importants. On n'a pas récolté de conidies pour des vitesses de vent inférieures à 4 km à l'heure.

Il est très intéressant de comparer la dissémination par le vent seul à celle qui résulte d'une projection préalable due à la pluie. Une telle comparaison a pu être faite le 24 décembre 1954, en exposant des lames, heure par heure, dans les conditions de l'expérience précédente. Plusieurs averses, accompagnées de vents forts au niveau du sol, ont permis d'effectuer des observations intéressantes qui sont consignées dans le tableau XIII.

TABLEAU XIII

Dissémination des conidies du C. herpotrichoides *par l'action du vent, seul ou accompagné de précipitations.*

Heure du prélèvement	Conidies récoltées	Hauteur de pluie (mm)	Durée des précipitations	Intensité de pluie	Vitesse moy. du vent (km/h)
11 h.	72	0,1	30 min	3,33	50
12	18	0	0	0	51
13	21	0	0	0	50
14	39	0	0	0	55
15	12	0	0	0	49
16	12	0	0	0	50
17	1868	0,8	5	160	63
18	20	0	0	0	63
19	274	0,1	5	20	49
20	36	0	0	0	34

Les données du tableau XIII montrent l'importance de la phase de projection dans la dispersion des conidies et, une fois de plus, son déclenchement précis en fonction de l'intensité de pluie. Elles montrent également que le vent, seul, ne joue pas un grand rôle. Son action ne saurait, cependant, être négligée si l'on songe à la longue période au cours de laquelle les plantes sont susceptibles d'être contaminées. L'effet d'accumulation pendant 3 ou 4 mois d'hiver est sans doute notable, mais difficile à préciser. Les vents, non accompagnés de pluie, sèchent les chaumes malades et limitent la production d'inoculum, ils diminuent sans doute, également, les possibilités de germination des spores, en réduisant l'état hygrométrique au niveau des plantules.

c) **Contrôle des disséminations effectives au cours de longues périodes.**

Sans chercher à séparer les deux facteurs principaux de la dispersion : la pluie et le vent, mais en utilisant simplement les conditions naturelles du milieu extérieur, on a pu contrôler, au cours des campagnes 1954-55 et 1955-56, sur de longues périodes, les modalités de la dissémination du *C. herpotrichoides*.

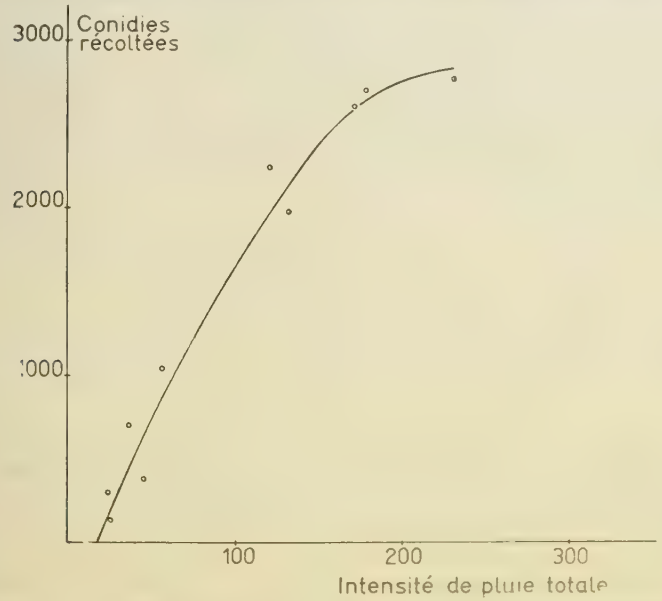
En 1954, on a opéré, de fin novembre à la fin décembre, avec quatre lames fixes situées à 30 cm du foyer et à 10 cm au-dessus du niveau du sol dans la direction des quatre points cardinaux.

Les résultats obtenus, présentés dans le tableau XIV, concernent le nombre total des conidies récoltées par cm² de surface exposée, pour les quatre lames pièges, et l'intensité de pluie.

TABLEAU XIV

Dissémination des conidies du C. herpotrichoides *dans les conditions naturelles en* 1954.

Date de notation	Durée d'exposition (heures)	Conidies récoltées	Intensité de pluie totale	Vitesse moyenne du vent (km/h)
25-11	19	711	37	15
27-11	22	308	23	20
29-11	41	2600	170	10
7-12	24	2764	231	7
9-12	48	1981	130	7
11-12	24	2712	176	4
13-12	40	2251	120	6
14-12	24	366	46	14
15-12	24	123	25	9
23-12	24	1021	56	18

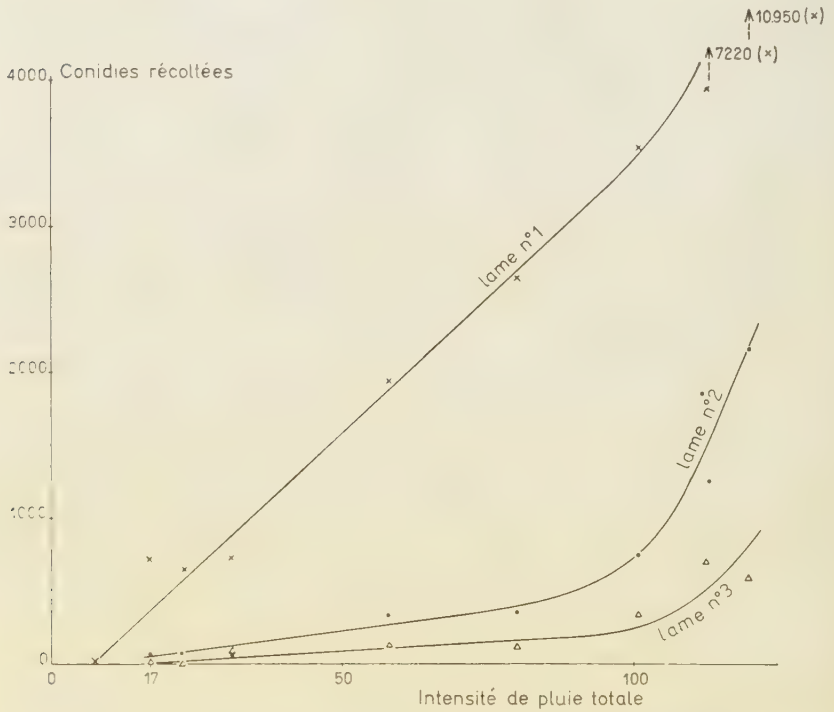


GRAPHIQUE 10. — Contrôle des disséminations du C. herpotrichoides au cours d'une longue période.

Le nombre des conidies étant obtenu par accumulation, au cours de durées variables d'exposition, on l'a rapporté à la somme des intensités de pluie correspondantes, déterminées par chutes successives ininter-

rompues. Les données pluviométriques ont été fournies par la Station de Bioclimatologie de Versailles, on a simplement, pour chaque précipitation individuelle, calculé les rapports $I = \frac{1\,000\ H}{D}$, pour les cumuler, par périodes d'exposition et obtenir l'intensité totale.

Comme l'indique le tableau XIV et le graphique n° 10 qui lui correspond, la relation entre l'intensité de pluie et la dissémination des conidies



Graphique 11. — Gradient de dissémination des conidies du C. herpotrichoides autour d'un foyer et au cours d'une longue période.

peut se vérifier, même en utilisant des temps d'exposition prolongés, au cours d'une période d'un mois favorable à la sporulation.

La courbe obtenue, à croissance rapide pour des intensités de pluie inférieures à 150, s'adoucit ensuite, tendant à former un palier. Au-delà d'une certaine limite, tout se passe comme si une saturation intervenait dans la projection. Ce fait peut s'expliquer, d'une part, par un lessivage des lames entraînant une partie des conidies ; d'autre part, en considérant que l'inoculum s'épuise à la suite de pluies prolongées. L'influence du vent n'est pas perceptible sur la courbe.

Ces résultats ont été vérifiés par les observations effectuées en dé-

cembre 1955, à l'aide de lames montées sur une girouette. On a, en même temps, cherché à préciser l'importance de la dissémination dans l'espace, en exposant pendant 24 ou 48 heures, trois lames pièges. Ces lames étaient disposées à 30 cm du foyer d'inoculum, mais à des altitudes différentes : 10, 20 et 30 cm, la plus élevée se trouvant située juste au-dessus du foyer.

Les quantités de conidies récoltées ont permis de construire les trois courbes du graphique n° 11, en portant en abcisses les intensités totales de pluie, calculées comme il a été indiqué précédemment.

On obtient toujours la même loi de dissémination, quelque soit la position des pièges, les trois courbes font partie d'une même famille et ne diffèrent que par le paramètre altitude des lames.

La courbe n° 1 correspond à celle du graphique n° 10, en ce qui concerne la situation du piège ; elle s'en distingue très peu, si l'on remarque qu'en 1955 (graphique 11), les intensités de pluie sont restées inférieures à 150 et que la quantité d'inoculum avait été largement augmentée par rapport à celle de 1954.

Lorsque les lames sont situées au-dessus du foyer d'inoculum, elles ne reçoivent de conidies que celles projetées par des pluies intenses. Il est cependant établi que le piétin-verse est bien une maladie épidémique et que ses conidies sont disséminées. On a pu en récolter, en janvier 1958, des quantités importantes à 5 mètres d'un foyer et à 1 mètre au-dessus du sol.

La détermination précise des périodes de dissémination est un des premiers éléments d'une méthode de prévision des épidémies du piétin-verse ; elle peut être effectuée en utilisant les seules données météorologiques.

VIII. — DÉVELOPPEMENT DE LA MALADIE APRÈS L'INOCULATION.

Deux facteurs principaux conditionnent le développement du piétin-verse sur la plante hôte, en conditions naturelles : l'humidité et la température.

L'humidité est indispensable à la croissance du *C. herpotrichoides*, comme les précipitations le sont à sa dissémination.

Une humidité relative de 70 p. 100, au moins, est nécessaire à un développement normal de la maladie, le piétin-verse est une maladie des hivers humides (2-7-17-36-38).

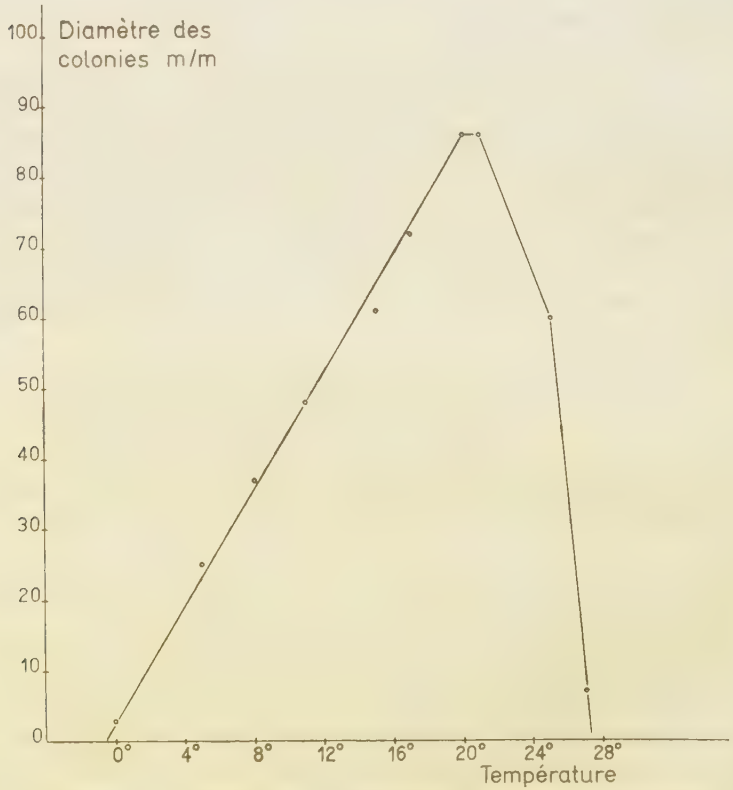
Du mois de novembre jusqu'au printemps, période au cours de laquelle les contaminations sont les plus fréquentes et les plus dangereuses, l'état hygrométrique au niveau des tiges inoculées est constamment élevé. Il le sera d'autant plus que les précipitations auront été plus abondantes, et plus importantes les contaminations. Une fois le parasite installé sous les gaines des tiges, il évoluera sans jamais manquer d'eau.

Au cours des hivers propices à la dissémination et préparant de fortes épidémies, les conditions d'humidité seront toujours favorables : l'évolution de la maladie ne dépendra en définitive que de la température.

La pluviométrie permet de déterminer les contaminations principales ; lorsqu'elle laisse prévoir une épidémie importante, le développement de la maladie pourra être suivi à l'aide des seules données thermométriques.

1° CROISSANCE DU C. HERPOTRICHOIDES EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE.

L'influence de la température sur la croissance du champignon du piétin a été étudiée en laboratoire, en conditions contrôlées. Le champignon a été ensemencé en boîtes de Pétri, sur deux milieux gélosés différents : l'un à base de pomme de terre, l'autre de carotte.

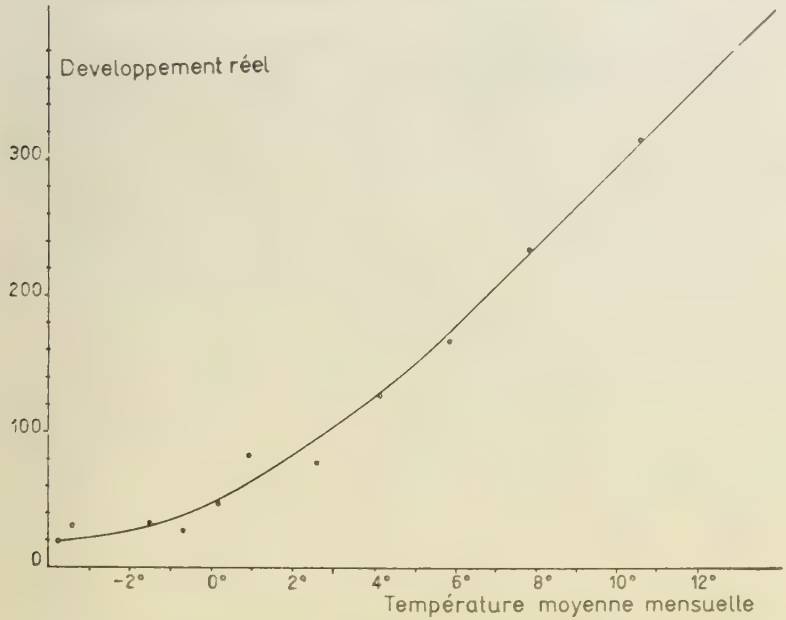


GRAPHIQUE 12. — Croissance du C. herpotrichoides en fonction de la température.

Deux boites de chacun des deux milieux ont été mises en incubation à différentes températures ; les diamètres des colonies ont été mesurés tous les trois jours.

Trois essais successifs, effectués dans ces conditions, ont permis d'établir une courbe de croissance du *C. herpotrichoides* en fonction de la température (graphique nº 12).

La courbe obtenue indique que la souche utilisée a sensiblement les mêmes exigences que celles étudiées par d'autres auteurs (27-36). Toute-



GRAPHIQUE 13. — Développement du C. herpotrichoides en fonction des températures moyennes mensuelles.

fois, sa croissance, quoique infime, est encore réelle à 0° ; ce fait ayant été vérifié en champ en 1953, par une étude de la progression de la maladie sur des plantes qui restèrent couvertes de neige pendant une période de 15 jours.

Pour des températures comprises entre 0° et 20°, la courbe peut, sans inconvénients, être assimilée à une droite ; le développement du champignon étant alors proportionnel à la température. Cette relation peut donc être utilisée pour l'étude du développement du parasite en champ, au cours de l'hiver et du début du printemps ; la température extérieure ne dépassant jamais 20° dans les régions où sévit le piétin-verse.

Le développement d'un organisme quelconque, lorsqu'il n'est fonc-

tion que de la température, peut être déterminé selon la méthode de Hallaire et Nigond (22). Il suffit de transformer la courbe de croissance théorique (graphique n° 12) en une courbe du développement réel en fonction, comme l'indique la méthode Hallaire, de la température moyenne de longues périodes de temps, un mois par exemple.

La courbe obtenue (graphique n° 13), permet ensuite de déterminer les quantités de développement de l'organisme, induites par des températures moyennes. Pour des périodes inférieures à un mois, on a déterminé le développement correspondant en effectuant une simple règle de trois.

Le seuil de croissance du *C. herpotrichoides* étant voisin de 0° et le développement proportionnel à la température, on peut se contenter d'utiliser les températures journalières planimétrées, à condition de posséder les bandes du thermomètre enregistreur du lieu où sont effectués les essais. Il suffit de calculer la somme de ces températures pour traduire le développement du parasite, durant une période choisie.

2° ÉVOLUTION DES LÉSIONS DU PIÉTIN-VERSE.

En fonction de la température, il est donc possible de suivre le développement du piétin-verse, dans la réalisation de ses différents stades d'évolution. Un premier stade important est la formation des premiers stromas résultant de l'inoculation. Ces stromas sont les premiers symptômes caractéristiques de la maladie, ils déterminent la phase d'incubation. L'invasion des gaines successives se produit à partir de ces plaques mycéliennes ; elle s'achève lorsque le parasite arrive au contact du premier entrenœud formé par la céréale, au début de la période de la montaison.

Au cours de ce second stade de développement, le champignon doit traverser, en moyenne, quatre gaines successives ; tout au moins en ce qui concerne la tige principale et les deux premières talles, seules présentes au moment des contaminations d'hiver précoces, susceptibles d'évoluer en lésions graves.

Un troisième stade d'évolution du piétin commence avec la contamination du premier entrenœud, au contact de la dernière gaine envahie ; il se termine avec la vie de la plante.

Il faut noter que lors de fortes attaques précoces du *C. herpotrichoides*, la pénétration des gaines aboutit fréquemment à la destruction des talles avant la période de montaison, le troisième stade d'évolution étant, de ce fait, supprimé.

Il est particulièrement important de chercher à déterminer avec précision la réalisation des trois stades principaux et, surtout, des deux premiers.

De l'achèvement du premier stade dépend l'invasion, de l'achèvement du second la précocité de l'attaque du premier entrenœud qui va conditionner la gravité de la maladie. En effet, si la destruction des gaines de la base est sans importance agronomique, la nécrose du premier entrenœud traduit, par contre, les effets du piétin sur le rendement. Les contaminations précoces de la tige aboutissent presque régulièrement à la verse, les contaminations ultérieures sont d'autant moins graves qu'elles sont plus tardives.

a) Apparition des premiers stromas.

Les durées d'incubation ont été déterminées en champ, dans les conditions naturelles, à partir des contaminations artificielles de la variété de blé Etoile de Choisy.

De 1952 à 1957, on a pu observer sept épidémies différentes dont les périodes d'incubation ont varié de 30 à 55 jours selon les conditions de température. Dans le tableau XV sont consignés les résultats obtenus au cours de 6 dernières années consécutives. L'incubation est caractérisée par une somme de développement ΣD obtenue, soit à partir de la courbe du graphique n° 13 (1re colonne), soit en utilisant les températures planimétrées additionnées jour par jour (2e colonne).

Tableau XV

Sommes de développement nécessaires à l'apparition des premiers stromas du C. herpotrichoides. *Variété : Etoile de Choisy.*

Année	Date de l'inoculation	Apparition des stromas	Incubation (jours)	Σ D col. 1	Σ D col. 2
1952	20-10	25-11	36	238	235
1953	5-3	5-4	31	236	240
1953	19-11	22-12	33	230	230
1954	15-11	23-12	38	236	242
1955	10-12	25-1	46	234	231
1956	11-12	1-2	51	225	232
1957	5-11	30-12	55	250	254

La lecture du tableau XV indique que les sommes de développement caractérisant l'incubation sont très voisines, quelle que soit la méthode choisie pour les obtenir et qu'elles sont particulièrement constantes, d'une année à l'autre, pour des périodes hivernales ou printanières variées et des durées d'incubation différentes. Pour les mois de décembre des années considérées, par exemple, ΣD a varié de 107 à 214, soit du simple au double.

On peut donc admettre qu'il faille en moyenne 240 unités de déve-

loppement pour que se réalise, à partir de la date d'inoculation, l'apparition des premiers stromas.

Dans les expériences en serre il faut, de même, en moyenne, trois semaines à 12° pour observer les premières plaques mycéliennes, soit également 240 unités de développement.

D'après ces résultats il est possible de prévoir, à quelques jours près, l'apparition des premiers symptômes du piétin-verse, lorsque l'on connait la date d'inoculation. Cette date peut être déterminée comme il a été indiqué précédemment d'après les données météorologiques.

b) **Formation des stromas sur les gaines successives et leur évolution.**

Dans la seconde phase de l'évolution du piétin-verse, le parasite doit former des stromas sur la face externe des différentes gaines emboîtées les unes dans les autres. Trois gaines en moyenne doivent être traversées pour que le champignon arrive au contact du premier entrenœud, sur lequel il se caractérisera par la formation d'une quatrième plaque mycélienne.

C'est donc, après l'apparition des premiers symptômes, quatre stromas successifs que doit former le *C. herpotrichoides* avant le pénétrer la tige.

D'après les déterminations effectuées en champ, en 1955 et 1957, ou en serre à différentes températures (12° et 6°), 90 unités de développement sont nécessaires à la traversée d'une gaine et à la formation du stroma correspondant, sur des plantules de la variété de blé Etoile de Choisy. C'est donc un total de 360 unités de développement qui caractérise la seconde phase hivernale du piétin-verse.

Les deux premières phases de l'évolution du *C. herpotrichoides* nécessitent donc en définitive 600 unités de développement. Toutes les contaminations qui auront bénéficié de ce total, au moment de la formation du premier entrenœud, aboutiront à une attaque immédiate de cet organe, par simple contact. Elles seront à l'origine des attaques de précocité maximum sur la tige et, en fait, des lésions les plus nuisibles à la plante.

Une fois réalisée la contamination du premier entrenœud, la croissance du parasite, à l'intérieur de la tige, sera de nouveau fonction de la température. La nécrose des tissus, utilisée dans la notation de la maladie, résulte de la formation interne d'une masse mycélienne importante qu'on peut évaluer en unités de développement.

Seuls ont été déterminés les besoins nécessaires à la réalisation des symptômes des types 4 et 5. En 1955, entre le moment où 30 p. 100 des entrenœuds étaient atteints (15 avril) et celui où 30 p. 100 des tiges ont été notées 4 ou 5 (8 juin), 655 unités de développement avaient été fournies au parasite. Le même total de 655 unités a été obtenu en 1957 entre le 6 avril et le 6 juin, pour un pourcentage d'attaque de 30 p. 100.

Cette valeur peut, sans doute, être modifiée par de longues périodes de sècheresse printannière, elle constitue donc un minimum attestant une fois de plus de la lenteur avec laquelle évolue le *C. herpotrichoides*.

Au cours des années propices à la maladie, il faut donc environ 1250 unités de développement pour qu'une contamination primaire puisse aboutir à une lésion qui entoure complètement la tige ou provoque la verse.

Les contaminations tardives, provoquées par des conidies de seconde formation ou par contact de tiges, n'auront pas à traverser autant de gaines de feuilles que les contaminations primaires. Elles ne pourront, toutefois, conduire à des lésions nuisibles que si elles bénéficient d'environ 1.000 unités de développement. La réalisation d'un tel développement est impossible, dans les conditions du climat des régions à piétin-verse, pour des contaminations de printemps. Cette constatation explique le fait, couramment admis, que les blés semés au printemps ne subissent jamais de dégâts graves de verse parasitaire. De plus, même en conditions très favorables, les épidémies printannières ne peuvent pas devenir nuisibles, quelle que soit la date à laquelle la céréale a été semée.

La détermination des stades d'évolution du piétin-verse peut donc être obtenue à partir des données météorologiques. La longue période d'évolution de la maladie en permet une analyse détaillée et sûre, les causes d'erreur qui peuvent intervenir sont, dans le cas du piétin, absorbée dans un volant important ; le ralenti permet ici de prévoir posément, avec tout le temps et la réflexion nécessaires.

3° DÉTERMINATION DES PRINCIPAUX SYMPTOMES DU PIÉTIN-VERSE.

Les symptômes principaux, choisis pour définir les classes du système de notation, représentent des lésions d'importance vitale fort différentes. Les symptômes notés 1, représentent une pénétration du champignon limitée aux premières couches cellulaires externes de la tige ; la manifestation de la verse est le résultat d'une pénétration profonde et de la destruction des tissus de soutien.

La masse d'hyphes mycéliens, construite dans le second cas, est beaucoup plus importante que celle qui a colonisé la partie superficielle de la tige.

Le *C. herpotrichoides*, comme il a été montré est caractérisé par une croissance très lente qui, à l'intérieur d'un organe, n'est fonction que de la température. Les divers symptômes résultent donc de sommes de développement différentes dont le parasite a bénéficié entre l'inoculation et la notation.

Dans le cas d'une notation à la récolte, à une date donnée, cette observation signifie que les symptômes notés sont d'autant plus graves qu'ils sont issus d'inoculations plus précoces.

Les lésions de degré 4 et 5, nous l'avons vu, nécessitent un minimum de 1.250 unités de développement, elles sont donc obligatoirement issues d'inoculations d'automne ou d'hiver. Celles du type 5, en particulier, résultent nécessairement d'une contamination du premier entrenœud en cours d'élongation ; celles du type 4 d'une contamination avant l'épiaison. En aucun cas, ces deux symptômes graves ne peuvent être provoqués par des inoculations de printemps.

Les symptômes du type 3 résultent de contaminations tardives de tiges arrivées au stade de l'épiaison. Comme l'indique leur position, encore localisée à la base des chaumes, ils correspondent à des inoculations de la fin de l'hiver ou du début du printemps.

Les attaques de degré 3 sont d'ailleurs fréquemment issues du contact direct entre les gaines malades des trois premières tiges et les talles secondaires d'une même plante.

Enfin, les taches ocellées, si caractéristiques de la présence du *C. herpotrichoides*, représentant les classes 1 et 2 du système de notation proviennent de contaminations tardives n'ayant pas eu la possibilité d'évoluer. Ces taches sont en général localisées à plusieurs centimètres au-dessus du sol, souvent même au dessus du premier nœud ; elles ne sauraient donc avoir pour origine des contaminations antérieures à l'époque de la montaison.

Les taches ocellées permettent de contrôler et de vérifier la dissémination des conidies de seconde formation.

Ainsi peuvent être situés, chronologiquement, les différents degrés d'attaque du piétin-verse ; l'évolution de la maladie, malgré sa complexité, est analysable grâce à sa lenteur.

Puisqu'il est possible de déterminer les symptômes, une analyse de détail tige par tige, permettrait de calculer, dès la fin de l'hiver, la proportion de lésions nuisibles espérée à la récolte. Toutes les tiges ont leur cas particulier et un champ de blé est constitué d'une population trop importante pourqu'il soit possible de réussir dans une telle voie.

La détermination des symptômes, telle qu'elle a été exposée, suppose que les contaminations se produisent à des moments précis et qu'il est possible de les réunir en classes correspondantes à celles du système de notation. Il n'en est rien et tous les degrés d'évolution de la maladie existent à l'intérieur de la population. Si donc, les inoculations qui ont bénéficié de 600 unités de développement à la montée donnent des lésions nuisibles, on peut se demander quel est l'avenir de celles qui atteignent la tige après ce stade essentiel. En particulier, il est intéressant de connaître la limite au-delà de laquelle les contaminations de la tige ne don-

neront plus que des symptômes des types 3, 2 ou 1. Il subsiste, après le stade critique de la montaison, une indétermination qu'on a cherché à lever, par un essai en champ réalisé en 1955. On a utilisé des inoculations artificielles échelonnées, depuis le mois de novembre 1954 jusqu'en mai 1955, sur des parcelles cultivées avec la variété Etoile de Choisy.

L'inoculum était constitué par 20 chaumes recouverts de conidies, fixés sur un cadre rectangulaire maintenu au sol.

Quatre foyers d'inoculum, en tous points semblables, ont été disposés au centre de quatre parcelles de 2 mètres carré, constituant quatre répétitions par période d'inoculation. Après chacune de ces périodes, limitées opportunément en fonction des conditions climatiques observées, on déplaçait simplement les quatre foyers dans quatre autres parcelles. L'isolement des parcelles contenant l'inoculum était assuré par leur dispersion au milieu du champ.

A la notation des résultats, à partir du 15 juillet 1955, on a pris en considération les plantes des parcelles inoculées et celles des bordures d'isolement situées à 1 mètre au-delà.

On a considéré, comme dates de disséminations, celles situées au milieu des périodes pluvieuses ; à chacune d'elles correspondent donc des contaminations échelonnées sur 5 à 8 jours.

Les contaminations antérieures au 27 mars avaient la possibilité d'aboutir à un symptôme grave puisqu'elles ont pu bénéficier de 1.200 unités de développement. La somme globale de développement ne suffit pourtant pas à déterminer ces symptômes, il faut tenir compte des différentes phases et, séparément, des possibilités de leurs réalisation. Le tableau XVI montre que les pourcentages de lésions graves ont diminué en fonction du temps, comme si seule était importante la première partie du développement et, en particulier, la précocité de l'attaque du premier entrenœud de la tige.

Le piétin-verse est donc bien une maladie déterminée par les conditions de l'hiver, par un développement du parasite antérieur à l'élongation ainsi qu'au cours de la montée ; une maladie qui évolue en liaison étroite avec la croissance de son hôte.

Dans le tableau XVI, on a fait figurer en regard des dates des contaminations, les rapports $\frac{\Sigma D_1}{600}$. Chaque rapport est celui de la somme de développement reçue par la contamination à l'époque de la montée (ΣD_1) à la somme nécessaire pour qu'elle aboutisse inévitablement à une lésion nuisible (600 unités).

L'époque de montée a été fixée au 10 avril, date à laquelle les premiers entrenœuds des tiges principales avaient de 1 à 2 cm de longueur.

Lorsque ΣD_1 est supérieure à 600, tout se passe comme si le parasite devait subir une période de latence dans les gaines, attendant qu'un

élément de tige soit apparu. Les valeurs de ΣD_1 supérieures à 600 unités n'ont aucune signification et l'on peut admettre que $\frac{\Sigma D_1}{600}$ a comme limite supérieure la valeur 1.

Dans ce cas, on doit s'attendre à ce que toutes les tiges contaminées (tige principale, première et seconde talle essentiellement), portent à maturité des attaques de degrés 4 et 5. En réalité les pourcentages observés pour la contamination du 28 novembre sont de 83 pour les parcelles d'essai et de 73 pour les bordures. Ces pourcentages établis à la récolte tiennent compte des talles tardives et des tiges restées saines : ils ne peuvent de ce fait atteindre la valeur 100.

TABLEAU XVI

Contaminations échelonnées de parcelles d'essai (I) *et des bordures* s'*entourant les parcelles* (II) ; *résultats obtenus en* 1955 *à la récolte, le* 15 *juillet.*

Dates des contaminations	28 novembre	22 décembre	21 janvier	25 février	27 mars	20 mai
Développement total (1200 unités).....	29 mai	6 juin	16 juin	25 juin	2 juillet	31 juillet
Σ D 1 (au 10 avril)	658	514	380	226	112	0
$\frac{\Sigma D 1}{600}$	1	0,86	0,63	0,38	0,20	0,00
I						
Symptômes 1, 2 et 3 (%).	13	19	25	42	46	20
Symptômes 4 et 5 (%)..	83	74	50	30	16	0
$\frac{83 \Sigma D 1}{600}$	83	71,4	52,3	31,5	16,6	0,0
II						
Symptômes 1, 2 et 3 (%).	13	13	20	36	27	18
Symptômes 4 et 5 (%)..	73	60	43	28	11	0
$\frac{73 \Sigma D 1}{600}$	73	62,8	46,0	27,7	14,6	0,0

Lorsque ΣD_1 est inférieure à 600, les tiges contaminées n'ont pas toutes, du fait du hasard, la même chance d'être gravement atteintes à maturité. Elles ont d'autant moins de chances de l'être que leur contamination est plus tardive ; c'est-à-dire que la somme de développement fournie au parasite est plus faible. Il est donc intéressant de considérer les quantités relatives de développement dont ont bénéficié chacune des contaminations en calculant les rapports $\frac{100 \Sigma D_1}{600}$ qui représentent les pourcentages maxima d'attaques graves. On a vu que 83 p. 100 seulement des

tiges ont pu extérioriser de telles attaques dans les parcelles contaminées, 73 p. 100 dans les bordures. Il y a donc lieu de corriger ces pourcentages par les coefficients 0,83 et 0,73, respectivement, pour obtenir les pourcentages théoriques de symptômes 4 et 5. La détermination des pourcentages théoriques suppose que les attaques graves sont fonction, exclusivement, du développement du parasite au cours de la phase végétative des céréales précédant la montée. Cette hypothèse se trouve vérifiée, d'après les données présentées dans le tableau XVI. En effet, lorsque ΣD_1 n'est pas nulle, les pourcentages théoriques calculés sont très voisins des pourcentages observés, que ce soit dans les parcelles d'essais ou dans les bordures les séparant. Les résultats du tableau XVI sont la moyenne des quatre répétitions.

Des résultats fournis par les contaminations échelonnées, on peut tirer divers enseignements et une vérification des conclusions concernant la marche générale des épidémies du piétin-verse.

L'importance des épidémies est bien fonction de la date des contaminations, quelle que soit la dose de l'inoculum et même, comme c'était le cas dans l'essai, lorsque cette dose est bien supérieure à ce qu'elle est dans la nature.

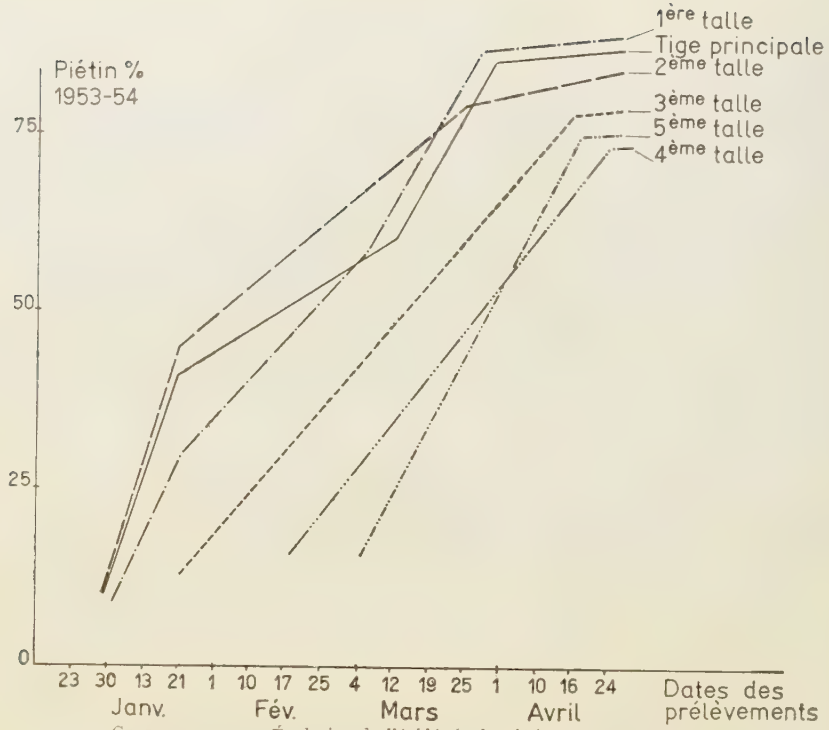
Seules les contaminations précoces peuvent amener des attaques graves ; le seuil de nuisibilité n'a été dépassé que pour celles antérieures au mois de mars, bien que 1.200 unités de développement aient été fournies aux cinq premières. Une période de sècheresse en avril n'a pas perturbé l'évolution des lésions internes de la tige, ni modifié les possibilités de sporulation sur les chaumes servant de source d'inoculum.

Les classes de notation 1, 2 et 3 sont représentées pour toutes les dates de contamination, leurs fréquences passant par un maximum pour celles de février et de mars. Corrélativement, les fréquences des classes 4 et 5 décroissent. Ce fait est parfaitement logique et indique, en fonction du temps, une transformation des attaques nuisibles en lésions de peu d'importance.

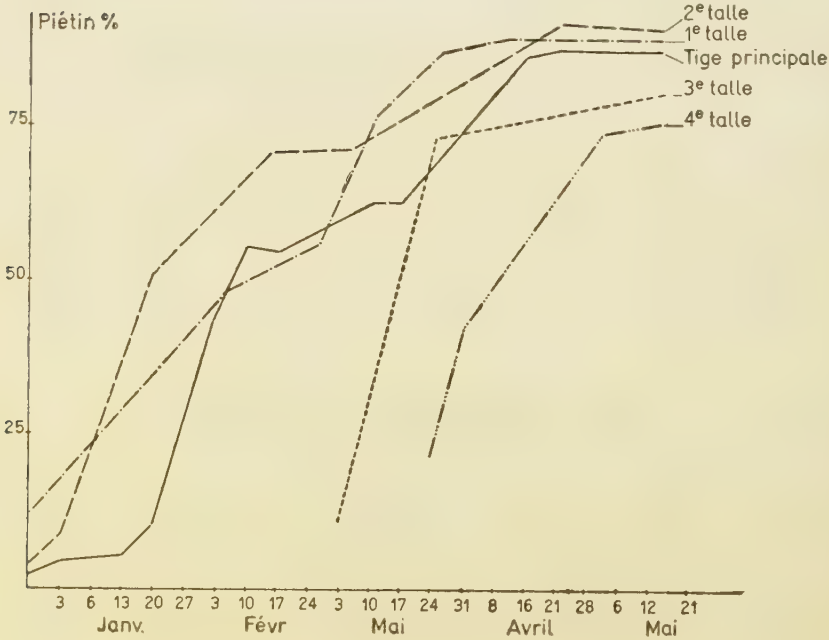
Le stade de la montée de la plante délimite nettement les possibilités du développement de la maladie et en détermine l'évolution ultérieure.

4° CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES ÉPIDÉMIES ANNUELLES.

Les épidémies artificielles, utilisées depuis 1952 pour étudier les différents facteurs dont il vient d'être rendu compte, ont également permis d'observer les modalités de l'évolution de la maladie en fonction du temps et du développement de la plante-hôte. Chaque année, de 1952 à 1958, la marche des épidémies a été suivie grâce à des prélèvements heb-



GRAPHIQUE 14. — Évolution de l'épidémie du piétin-verse en 1953-1954.



GRAPHIQUE 15. — Évolution du piétin-verse en 1954-1955.

domadaires de 50 plantes. Les notations effectuées ont porté, chaque fois, sur la présence de stromas sur les gaines de toutes les talles formées, considérées séparément.

Les graphiques nos 14 et 15 montrent l'allure de deux évolutions annuelles ; celles des campagnes 1953-54 et 1954-55.

On constate que, de façon générale, les deux premières talles portent des stromas avant que la tige principale ne soit, elle-même, attaquée. Cette dernière se trouve être protégée par l'apparition des deux premières talles, venant s'insérer entre elle et les gaines les plus externes qui ont reçu les contaminations. Les premières talles atteintes sont quelquefois tuées au cours de l'hiver, elles sont remplacées par de nouvelles tiges, qui a leur tour sont attaquées, le plus souvent par simple contact.

La croissance du parasite, d'une extrême lenteur, est liée à celle de la plante hôte, dans la réalisation de ses différents stades d'évolution. On ne peut donc suivre le développement de la maladie qu'en tenant compte de celui de la céréale.

IX. — ÉLÉMENTS DE PRÉVISION DES ÉPIDÉMIES.

Le seuil de nuisibilité du piétin-verse a été défini dans le chapitre IV ; il s'agit maintenant, en fonction de tous les éléments disponibles de prévoir, vers la mi-mars, le dépassement de ce seuil. A cette date, un traitement de la maladie peut intervenir ; ultérieurement, et surtout après la contamination de la tige il serait sans action. Le traitement est essentiellement destiné à arrêter le développement de la maladie, avant le stade critique de la montée.

Il est facile de déterminer les périodes de dissémination des conidies du *C. herpotrichoides*, en utilisant les données météorologiques. L'importance numérique des contaminations ne peut pas être évaluée avec précision, puisqu'il est pratiquement impossible de connaître la quantité d'inoculum disponible à l'occasion de chaque période pluvieuse.

Il est donc nécessaire de suivre, sur le terrain, l'évolution de la maladie et l'apparition des premiers stromas. Une première observation devra être effectuée lorsque 240 unités de développement auront été fournies aux contaminations primaires, elle servira à déterminer le pourcentage des tiges portant des stromas. Ce pourcentage est établi sur un maximum de trois tiges par plante (tige principale, premières talles) ; il se trouvera donc diminué, à la récolte, par l'apparition de talles tardives qui ne seront pas gravement atteintes.

Le seuil de nuisibilité (20 à 25 p. 100 de tiges notées 4-5 à maturité), sera donc issu de 30 à 35 p. 100 de talles attaquées, reconnues au cours de l'hiver comme porteuses des premiers stromas.

La prévision sera faite en fonction de la date à laquelle sera atteint ce qu'on peut appeler le pré-seuil de nuisibilité (stromas présents sur 30 à 35 p. 100 des futures tiges).

Il n'y a pas à redouter, à cette époque, une multiplication des sources d'inoculum, puisque les conidies de seconde formation sur les gaines malades n'apparaissent, en moyenne, que vers la fin de février ou le début du mois de mars.

Juste avant la période de montaison, c'est-à-dire en moyenne entre le 15 mars et le 1er avril, on déterminera la quantité de développement fournie au parasite depuis la date de réalisation du pré-seuil de nuisibilité.

Si cette quantité est supérieure à 360 unités, et dès qu'elle le sera, on peut prévoir une attaque grave, en particulier le dépassement du seuil de nuisibilité. On pourra même, à titre indicatif, prévoir le pourcentage d'entrenœuds qui seront immédiatement contaminés.

On a vu que la maladie évolue jusqu'aux symptômes de type 4 ou 5, si la pénétration coïncide avec l'élongation. La prévision est donc une sécurité dans le cas d'un dépassement du seuil de nuisibilité.

Si, par contre, la quantité de développement est inférieure à 360 unités, la prévision est un peu plus délicate, selon la valeur de cette quantité et la date d'apparition des stromas.

En se référant au tableau XVI, on constate que le seuil de nuisibilité est susceptible d'être dépassé tant que les contaminations ont eu la possibilité de former des stromas visibles avant la période de montée.

Lorsque la période d'incubation s'achève après le début du stade de la montaison, le seuil de nuisibilité ne saurait être dépassé.

A une telle époque d'observation, les talles sont apparues, le tallage cessant avec la montaison. Le pré-seuil de nuisibilité prend alors la valeur 20-25 p. 100 de tiges portant des stromas.

Si, entre le 15 mars et le 1er avril, ce pré-seuil n'est pas atteint, on peut affirmer que l'épidémie de piétin ne sera pas grave et qu'elle ne nécessitera pas, de toute façon, l'application d'un traitement chimique.

La prévision de l'importance des épidémies du piétin-verse est donc chose possible avec un minimum de moyens, en s'appuyant sur la biologie de la maladie et sur des données purement climatologiques.

Dans le cas où les stromas constituant le pré-seuil de nuisibilité ont bénéficié, à la montaison, d'une somme de développement positive mais inférieure à 360, il faut prévoir une attaque moyenne dont la gravité est difficile à chiffrer. On pourra se réserver une marge de sécurité suffisante, du point de vue pratique, en cherchant à prévoir, avant tout, les épidémies non nuisibles ; ce qui se présente en moyenne une année sur quatre ou cinq. Il y a lieu bien entendu, de déterminer avec netteté l'autre extrémité : l'épidémie grave. On aura en général la certitude de son éventualité bien avant la période critique de la montaison.

Dans le cas où un traitement s'avérerait nécessaire, il est important de le situer avec précision, en observant le développement de la plante hôte. Le stade du début de l'élongation de la tige, visible sur des coupes longitudinales est la période la plus favorable, si l'on désire se limiter à un seul traitement.

La possibilité du traitement chimique du piétin-verse, démontrée par plusieurs auteurs est, en effet, à prendre en considération. De nombreux essais ont été réalisés à Versailles, en serre et en champ ; il en sera rendu compte dans un prochain mémoire.

X. — RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Le piétin-verse des céréales, provoqué par le *C. herpotrichoides* est connu en France depuis la fin du siècle dernier. C'est une maladie dont les manifestations sont irrégulières et d'allure épidémique très lente. Elle n'est grave qu'au cours de certaines années, qu'il y a intérêt à prévoir en temps utile.

Diverses techniques d'étude de la maladie ont été mises au point, l'inoculation artificielle et la notation des symptômes en sont d'autant facilitées et réalisables avec un minimum de moyens.

L'importance agronomique du piétin-verse a été précisée, grâce à une étude des principaux facteurs du rendement du blé, en rapport avec la maladie. Le *C. herpotrichoides* provoque un échaudage et une réduction de la fertilité de l'épi, exceptionnellement une destruction des jeunes talles.

La maladie n'est d'importance économique que lorsque 20 à 25 p. 100 des tiges sont gravement atteintes à la récolte, cette limite constitue le seuil de nuisibilité. Il y a donc lieu de chercher à prévoir les années où ce seuil est susceptible d'être dépassé, en se basant sur des données biologiques indispensables et en utilisant, comme éléments de prévision, les données météorologiques.

L'inoculum assurant le déclanchement des attaques primaires est fourni par des débris de récolte, des repousses ou des Graminées spontanées ; il est disponible dès l'automne et au cours des hivers humides.

La dissémination des conidies du *C. herpotrichoides* s'effectue en deux phases distinctes : la projection sous l'action des gouttes de pluie, transport aérien dû au vent. On peut aisément déterminer les périodes de contamination, sans qu'il soit possible d'en connaître l'importance quantitative.

Une fois installé sur son hôte, le parasite se développe en fonction de la température, si le milieu lui assure une humidité suffisante. La loi d'action de la température a conduit à une détermination des princi-

paux stades. De leur précocité et de leur durée, dépend en définitive la gravité d'une épidémie annuelle. La prévision de l'importance de l'épidémie est possible, dès la fin de l'hiver, à une époque où un traitement chimique est souhaitable, si le seuil de nuisibilité doit être dépassé.

Le piétin-verse est une maladie épidémique, préparée essentiellement au cours de la période végétative des céréales précédant le stade de la montaison, il est sans danger pour des semis de printemps, en raison même de sa biologie.

L'observation de différentes épidémies annuelles successives, a permis de montrer les modalités de l'infection des tiges et de vérifier les résultats obtenus, tout au long de cinq années d'études.

Le piétin-verse n'est pas une maladie particulièrement grave, si l'on songe à la faible fréquence des épidémies importantes et aux pertes, relativement faibles, que provoquent ses lésions sur le rendement des plantes.

Il y a lieu, cependant, de surveiller son évolution annuelle, surtout dans le cas de répétitions fréquentes de céréales sur un même champ. Dans ce cas, où l'inoculum est abondant, et dans celui des contaminations précoces importantes, on pourra, en temps utile, alerter la profession agricole et mettre en œuvre les moyens nécessaires pour maintenir le développement du *C. herpotrichoides* en deçà du seuil de nuisibilité qui lui a été fixé.

Reçu pour publication le 11 *décembre* 1958.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) Adam (D. B.). — On the occurence of *Cercosporella herpotrichoides* Fron in South Australia. *Australia Inst. Agr. Sci. Jour.*, **6**, 48, 1940.
(2) Detroux (L.). — Recherches sur le piétin-verse, *Cercosporella herpotrichoides* Fron. *Parasitica II*, I et *II*, 86, 1946.
(3) Foex (E.). — Quelques faits relatifs au piétin du blé. *Bull. Soc. Path. Veg. France*, **1**, 26, 1914.
(4) Foex (E.). — Observations sur le piétin du blé. *Ann. Epiph.*, VI, 200, 1919.
(5) Foex (E.). — Le piétin du blé en 1928-1929 ; *C. R. Acad. Agr. France*, **15**, : 1005, 1930.
(6) Foex (E.). — Quelques observations sur les maladies du pied des céréales. *C. R. Acad. Agric. France*, **21**, 501, 1935.
(7) Foex (E.). — Étude expérimentale des piétins du blé au cours de la campagne 1934-1935. *Ann. Epiph.*, II, 1, 1936.
(8) Foex (E.) et Rosella (E.). — Sur diverses formes du piétin. *Rev. Path. Veget. Ent. Agr.*, XVII, 36, 1930.
(9) Foex (E.) et Rosella (E.). — Recherches sur le piétin. *Ann. Epiph.*, **16**, 51, 1930.
(10) Foex (E.) et Rosella (E.). — Quelques observations sur le piétin des céréales. *Rev. Path. Veget. Ent. Agr.*, XX ; 172, 1933.
(11) Foex (E.) et Rosella (E.). — Les piétins du blé. *Rev. Path. Veget. Ent. Agr.*, XXI, 9, 1934.

(12) Frank (A. B.). — Das Umfallen des Roggens und die diesfährigen neuen getreidepilze. *Deutsh. Landw. Pr.*, 21 ; 509, 1894.
(13) Fron (G.). — Contribution à l'étude de la maladie du pied noir des céréales ou maladie du piétin. *Ann. Sci. Agr. française et étrangère*, **1**, 3. 1912.
(14) Glynne (M. D.). — Some new British records of fungi on wheat, *Cercosporella herpotrichoides* Fron, *Gibellina cerealis* Pass and *Ophiobolus herpotrichus* (Fr.), Sacc. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, XX, 2, 120. 1936.
(15) Glynne (M. D.). — Eyespot, *Cercosporella herpotrichoides* Fron and lodging of wheat. *Ann. Appl. Biol.*, **31**, 377. 1944.
(16) Glynne (M. D.). — Production of spores by *Cercosporella herpotrichoides* Fron. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, **36**, 46, 1953.
(17) Dion (W. M.), Weil (J. W.). — The effect of eyespot *Cercosporella herpotrichoides* Fron on wheat and the influence of nitrogen on the disease *Ann. Appl. Biol.*, **32**, 297-303, 1945.
(18) Gorter (G. J. M. A.). — Eyespot lodging disease of wheat. *Farming in South Africa*, **16**, 81-110, 1941.
(19) Gaudineau, Guyot (L.). — De quelques facteurs qui influencent le développement de la maladie du piétin du blé. *Rev. Path. Veget. Ent. Agr.*, **12**, 327, 1925.
(20) Guyot (A. L.). — Quelques observations sur diverses maladies des céréales. *Rev. Path. Veget. Ent. Agr.*, **11**, 268, 1924.
(21) Guyot (A. L.). — De l'évolution du piétin des céréales en rapport avec certains facteurs météorologiques. *Rev. Path. Veget. Ent. Agr.*, **19**, 215, 1932.
(22) Hallaire (M.) et Nigond (J.). — Action de la température sur le développement des organismes dans les conditions naturelles. *Compte-rendus Acad. Sci.*, **236**, 230-32, 1953.
(23) Heald (F. D.). — Investigations needed. Foot rot of wheat. *Wash. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **155**, 38, 1920. — **167**, 39, 1922. — **175**, 36, 1922.
(24) Larose (E.) et Wanderwalle. — Les maladies du pied chez le froment. *Rapp. C. R. Jour. Nat. Prot. San. Pl. Cult.*, Oct. 1935.
(25) Mangin (L.). — Sur le piétin ou maladie du pied du blé. *Bull. Soc. Mycol. France.*, **15** ; 210, 1899.
(26) Moritz (O.), Bockmann (H.). — Einleitende Studien uber *Cercosporella herpotrichoides* Fron. *Angew. Bot. Bd.*, XV, 5, 409, 1933.
(27) Oort (A. J. P.). — De Oogvlekkenziekte van de granen, verrorzaakt door *Cercosporella herpotrichoides* Fron. *Tijdschr. over Plantenz*, **42**, 179, 1936.
(28) Pluchet. — Sur l'état de la récolte du blé et sur la maladie du piétin. *Bull. Soc. Centr. Agr. France*, **38**, 368, 1878.
(29) Prillieux (E.) et Delacroix (G.). — La maladie du blé causée par l'*Ophiobolus graminis* Sacc. *Bull. Soc. Mycol. France*, **6**, 110, 1890.
(30) Saxby (S. H.). — Eyespot in wheat. *New. Zealand Jour. Agr.*, **66** ; 257, 1943.
(31) Schaffnit (E.). — *Cercosporella herpotrichoides* Fron als ursache der Halmbruchkrankheit, des Getreides. *Phytopath. Zeits.*, V, 493, 1933.
(32) Shoemaker (R. A.) et Tyler (L. J.). — *Cercosporella* foot rot of winter wheat in New-York. *Plant Dis. Rep.*, **38**, 10, 710, 1954.
(33) Sprague (R.). — *Cercosporella herpotrichoides* Fron, cause of the Columbia basin foot rot of winter wheat. *Science*, **74**, 51, 1931.
(34) Sprague (R.). — The relative importance of *Cercosporella herpotrichoides* and *Leptosphaeria herpotrichoides* as parasites on winter wheat. *Phytopath.*, **24**, 167, 1934.
(35) Sprague (R.). — Influence of climatological factors in the development of *Cercosporella* foot-rot of winter wheat. *U. S. D. A. Circ.*, **451**, 1937.
(36) Sprague (R.). — *Cercosporella* foot rot of winter grains in the Pacific North West. *U. S. D. A.* Circ. Angl. **17**, 1934.

(37) SPRAGUE (R.). – Relative susceptibility of certain species of gramineae to *Cercosporella herpotrichoides*. *Jour. Agr. Res.*, **53**, 659-670, 1936.
(38) SPRAGUE (R.) et FELLOWS (H.). — *Cercosporella* foot-rot of winter wheat. *U. S. D. A. Techn. Bull.*, **428**, 1934.
(39) STOREY (I.). — Observations on take-all and eyespot diseases of wheat in Yorkshire. *Ann. Appl. Biol.*, **34**, 346, 1947.
(40) VINCENT (A.), PONCHET (J.) et KOLHER (M.). — Recherche de variétés de blé tendre peu sensibles au piétin-verse. *Ann. I. N. R. A.*, série B. 2e année, nº 3. 1951.

CHRONIQUE DES LIVRES

X. — **Diseases and pests on horticultural planting material. A guide to their recognition.** London, *Min. Agric. Fish. Food*, 2. ed., 1958, 38 p.

Ce guide, publié par le Ministère de l'Agriculture britannique, à l'intention de ses services de la Protection des Végétaux, passe en revue les différentes maladies et parasites susceptibles d'être observés sur les plantes, bulbes, oignons, etc. des principales plantes horticoles qui font couramment l'objet de commerce international.

Pour chacune d'entre elles, classées alphabétiquement suivant leur nom anglais, il donne une brève description, souvent illustrée, des symptômes qui permettent l'identification de ces maladies et parasites.

M.-L. C.

BODENHEIMER (F. S.). — **Animal Ecology to-day.** (L'Ecologie animale aujourd'hui). La Haye, Junk, 1958, 276 p.

Paru dans une série de Monographies biologiques, cet ouvrage de F. S. BODENHEIMER développe certains aspects modernes de l'écologie animale.

L'esprit de cet ouvrage est différent du « Précis d'écologie animale », dont une traduction française était parue en 1955. Il se rapprocherait plutôt des « Problems of Animal Ecology » de 1938... mais vingt ans ont passé et les problèmes ont singulièrement évolué.

Le premier chapitre est consacré aux problèmes de longévité, de la structure des populations en fonction de l'âge, de l'influence du milieu sur « l'espérance de vie ».

Puis l'auteur analyse certains aspects de l'éthologie à la lumière de l'écologie ; il rapporte en particulier les travaux sur les variations du cycle évolutif en fonction des régions et du climat (chez quelques *Coccinellidae*) et l'influence des facteurs du milieu sur l'épidémiologie (chez *Ceratitis capitata* Wied.). C'est ensuite une étude analytique de quelques populations animales : Drosophile (étude expérimentale d'une population), Pucerons, Acridiens, Rongeurs et épidémiologie de la malaria.

L'équilibre biologique naturel et la lutte biologique occupent le chapitre 4. Les aspects mathématiques de la dynamique des populations, l'action du climat, l'action des facteurs biotiques sont étudiés en prenant surtout comme exemples les travaux récents sur les insectes.

Suit un exposé sur les conceptions dynamiques et descriptives des biocénoses, appuyé sur de nombreux cas.

L'avant dernier chapitre est consacré aux relations entre l'écologie et la génétique : hérédité des caractères écologiques ; génétique des populations ; interaction du milieu et de l'hérédité dans la diapause, la détermination du sexe, les variations géographiques ; le problème de l'adaptation.

Enfin, l'auteur évoque certains problèmes d'écologie humaine, qui conditionnent l'avenir de l'homme.

Difficile à résumer, ce livre mérite d'être lu et médité par tous ceux qu'intéresse l'écologie animale.

J. D'A.

MORTON (J. E.). — **Molluscs.** London, Hutchinson Univ. Library, 1958, 232 p., 23 figures.

Nos connaissances sur les Mollusques ont rapidement progressé au cours des dernières années. Ce petit livre est une introduction à leur connaissance. Il tient compte des dernières découvertes, et en particulier celle qui fit sensation au dernier Congrès international de Zoologie à Londres concernant la découverte de *Neopilina galatheae* Lem., véritable fossile vivant, appuyant l'hypothèse de l'origine métamérique des Mollusques et leur rapprochement avec les Annélides. L'auteur y discute leur structure fondamentale et montre comment les 6 classes actuelles ont évolué chacune avec son type distinctif. La morphologie externe et la biologie des Gastropodes, Lamellibranches et Cephalopodes sont passées en revue. Les derniers chapitres sont consacrés à la classification et aux directions évolutives des 3 classes principales.

Une liste de 223 références et un index alphabétique terminent cet ouvrage.

J. d'A.

Le Directeur-Gérant : B. LACLAVIÈRE.

Imprimerie BUSSIÈRE à Saint-Amand (Cher), France. — 3-3-1959.
Dépôt légal: 1er trimestre 1959 *N° d'impression: 349*

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

7, rue Keppler, PARIS. Tél. : Kléber 23,04, 23-20, 23-21.
Directeur : H. FERRU

Conseil Supérieur de la Recherche Agronomique

Président..... M. le Ministre de l'Agriculture.
Vice-Président..... M. le Professeur LEMOIGNE, membre de l'Institut.

Comité Permanent de la Recherche Agronomique

Président..... M. le Professeur LEMOIGNE.
Membres..... MM. les Professeurs BRESSOU, TERROINE, LHÉRITIER.
Le Directeur de l'Institut National de la Recherche Agronomique,
L'Inspecteur général de la Recherche Agronomique,
Les Directeurs centraux de Recherches.

Rédaction des Annales

Pour l'ensemble des Séries : M. BUSTARRET, Inspecteur général de la Recherche Agronomique.

Série A. — *Agronomie :* M. BOISCHOT, Directeur de la Station centrale d'Agronomie.

Série A *bis*. — *Physiologie végétale :* M. COIC, Directeur de la Station centrale de Physiologie végétale.

Série B. — *Amélioration des Plantes :* M. MAYER, Directeur de la Station centrale de Génétique et Amélioration des Plantes.

Série C. — *Épiphyties :* M. DARPOUX, Directeur de la Station centrale de Pathologie végétale,
M. TROUVELOT, Directeur de la Station centrale de Zoologie agricole,
M. VIEL, Directeur du Laboratoire de Phytopharmacie

Série C *bis*. — *Abeille :* M. CHAUVIN, Directeur de la Station centrale de Recherches apicoles de Bures-sur-Yvette.

Série D. — *Zootechnie :* M. BUSTARRET, Inspecteur général de la Recherche agronomique,
M. A.-M. LEROY, Professeur à l'Institut National Agronomique.

Série E. — *Technologie agricole :* M. FLANZY, Directeur de la Station centrale de Recherches de Technologie des produits végétaux,
M. MOCQUOT, Directeur de la Station centrale de Technologie des produits animaux.

ADMINISTRATION ET SECRÉTARIAT DE LA RÉDACTION :
149, rue de Grenelle, PARIS. Tél. INV. 98-57.

TARIF DES ABONNEMENTS POUR 1959

	FRANCE	ÉTRANGER	LE N°
SÉRIE A. — AGRONOMIE	4.000	4.600	800
SÉRIE A *bis*. — PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE	1.500	1.900	500
SÉRIE B. — AMÉLIORATION DES PLANTES	2.600	3.000	800
SÉRIE C. — ÉPIPHYTIES	2.600	3.000	800
SÉRIE C *bis*. — ABEILLE	1.800	2.100	600
SÉRIE D. — ZOOTECHNIE	1.800	2.100	600
SÉRIE E. — TECHNOLOGIE	2.600	3.000	800

Chaque demande de changement d'adresse doit être accompagnée de 40 fr. en timbres-poste.

Les demandes d'abonnements doivent être adressées au Régisseur des Publications de l'Institut National de la Recherche Agronomique, 149, rue de Grenelle - PARIS-7e. C.C.P. : PARIS, 9064-43. Elles peuvent être également souscrites par l'intermédiaire de libraires dans les conditions habituelles.

TABLE DES MATIÈRES

VAGO (C.) et CROISSANT (O.). — Recherches sur la pathogénèse des viroses d'insectes. La libération des virus dans le tube digestif de l'insecte à partir des corps d'inclusion ingérés.. 5

MISSONNIER (J.). — Essais de lutte contre la mouche de la betterave (*Pegomyia betae* CURTIS) 19

JOLLY (M. S.). — Un cas d'enchaînement : blessure avec infection cryptogamique à *Trichothecium roseum* LINK chez le lépidoptère *Bombyx mori* L. 37

PONCHET (J.). — La maladie du piétin-verse des céréales : *Cercosporella herpotrichoides* FRON. Importance agronomique, biologie, épiphytologie 45

CHRONIQUE DES LIVRES 99

X 909.117